



유도 전동기 제어

학습 목표 |

1. TRIAC을 사용하여 단상 유도 전동기의 속도 제어를 할 수 있다.
2. 3상 유도 전동기의 기동 방식의 종류와 동작을 설명할 수 있다.
3. 권선형 3상 유도 전동기의 속고-토크 제어를 할 수 있다.
4. 인버터의 종류와 장단점을 설명할 수 있다.

1 단상 유도 전동기 제어

1. 단상 유도 전동기의 정, 역제어

단상 유도 전동기는 3상 유도 전동기와 비교하여 볼 때 콘덴서, 원심력 스위치, 기타 인출선 등과 그 보조 부품들까지 포함하면 단상 유도 전동기 부품수가 많아서 강도나 내구성면에서 부품 수가 적은 3상보다 떨어진다.

특히 전기 기기에서는 그 문제가 더 클 수 있다. 따라서, 단상 유도 전동기 제작 업체에서는 더 많은 부품 관리는 물론 작업 관리까지 관리상 어려움이 있고, 단상 전원의 특성상 소비 전력면에서 3상 전원보다 불리하여 KS에서는 단상 유도 전동기를 0.75[kW] 이하만으로 규정하고 있다. 일본의 경우는 1.1[kW]까지만 단상 유도 전동기를 생산하고, 그 이상의 출력 범위의 유도 전동기는 3상으로 권장하고 있다.

이와 같이, 단상 유도 전동기가 3상 유도 전동기에 비하여 환경에 취약하고, 일반 소비자들이 단상 유도 전동기를 적용할 경우에 주의하여야 할 사항들은 사용 환경과 부하를 구분하여 사용하여야 한다.

단상 유도 전동기 중 콘덴서를 부착하는 콘덴서 기동형과 콘덴서 운전형의 단상 유도 전동기는 특히 주위 온도에 주의가 필요하다. 콘덴서의 종류에 따라 차이는 있겠으나, 주위 온도에 따라 콘덴서의 전기적 성능(용량, 역률, 내전압 등)이 급격히 떨어져 전동기 성능 저하에 직접적인 영향을 준다.

따라서, 주위 온도가 $-10\sim40$℃를 벗어나는 경우에는 콘덴서 부착 위치를 발열체인 전동기 프레임에서 일정 거리 떨어진 위치에 설치하거나, 인출선을 길게 하여 격리된 장소에 설치하는 방법 등을 고려해 주어야 한다.

또, 단상 유도 전동기 내부에는 원심력 스위치라는 부품이 있어 물의 침입, 분진 또는 먼지의 침입을 고려한 보호 방식이 필요하다. 원심력 스위치의 On－Off 시 서로 붙는 접점에 먼지가 묻든지 이물질이 들어가면 접점이 용착되어 정상 운전 후에도 기동 코일의 전류를 끊어 주지 못하고 큰 기동 전류가 계속 흐르게 되어 권선의 소손이 발생하는 경우도 있어 주의가 필요하다.

부하 특성에 따른 단상 유도 전동기 적용 구분은 일반적으로 기동 시 필요한 토크나 적용되는 기동 방식에 따라 구분되어 사용되는데, 실제로는 사용 정격에 따라서도 그 구분을 명확히 할 필요가 있다.

왜냐하면, 원심력 스위치를 사용하는 콘덴서 기동형, 콘덴서 기동과 운전형, 분상 기동형 등의 단상 유도 전동기는 기동을 위하여 스위치가 한번 On－Off 할 때마다 접점 부분은 순간적으로 수 천 ℃의 열이 발생하는데, 만약 기동이 잦은 반복 부하로 연속 사용이 될 경우에는 과열로 원심력 스위치의 고장이 생길 수 있기 때문이다.

물론, 스위치의 성능을 보장하기 위하여 열전달을 통한 자연 냉각이 쉽게 될 수 있게 설계하였지만, 연속적인 기동 전류의 통전은 스위치의 수명을 단축시킨다.

실습 과제 4

TRIAC을 사용한 단상 유도 전동기의 속도 제어

<도면>

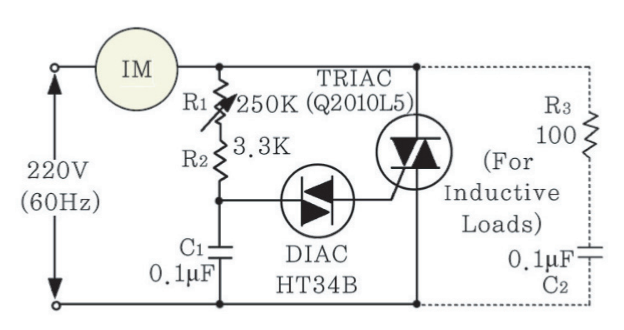


그림 Ⅴ-59 위상 제어 실습 과제 도면

사용 재료와 기기

IM: 1/4 HP, 220 V AC, 단상 유도 전동기, DIAC: HT34B, R_1: 250kΩ, VR, R_2: 3.3 kΩ, 5 W, TRIAC: Q2010L5, R_3: 100 Ω, 5 W, C_1: 0.1 μF, C_2: 0.1 μF

안전과 유의 사항

1. 회로 결선이 한번 더 정확히 결선되었는지를 최종 확인한다.
2. 전동기와 TRIAC의 결선을 잘못하여 전원 전압이 단락되지 않게 주의한다.
3. TRIAC의 핀 극성을 반대로 접속하지 않게 주의한다.

실습 순서

1. 관련 지식을 숙지 후에 도면대로 PCB를 제작한다.
2. PCB를 제작한 후에 각 부분 회로의 동작을 오실로스코프를 사용하여 확인한다.
3. 부품들의 결선이 오결선되지 않게 주의한다.
4. 입력 속도 설정 가변 저항기를 PCB 입력 단자에 연결한다.
5. 결선이 완료되면 전원을 투입한 후에 속도 설정용 가변 저항기를 CW 또는 CCW로 회전시켜 속도의 증감을 확인한다.
6. 속도 지령값을 저속, 고속으로 바꾸며 회전 토크를 확인한다.

결과 정리

1. 부품과 공구를 사용하여 도면대로 PCB를 제작한다.
2. PCB를 제작한 후에 회로 각부의 파형을 오실로스코프를 사용하여 관측하고 기록한다.
3. DC 전동기와 결선이 오결선되지 않게 결선한다.
4. 결선이 완료되면 전원을 투입 후에 속도 설정용 가변 저항기를 CW 또는 CCW로 회전시켜 속도의 증감을 확인한다.
5. 속도 지령값을 저속, 고속으로 바꾸며 회전 토크를 확인한다.
6. 일정 부하를 유지한 상태에서 입력 속도 설정 가변 저항기를 조정하여 속도, 전류 변화를 계측한 후에 다음 표 Ⅴ-7에 기록한다.
7. 표 Ⅴ-7을 사용하여 가로로는 시간 t를 취하고, 세로로는 속도 지령 전압, 회전수, 전류를 잡은 후에 그래프를 그려 본다.

표 Ⅴ-7 측정표

항목 / 측정 회수	속도 지령 전압	회전수	전류
1			
2			
3			
4			
5			
6			

2 3상 유도 전동기 제어

1. 유도 전동기의 기동 방법

유도 전동기의 기동 방법은 그림 Ⅴ-60과 같이 분류된다.

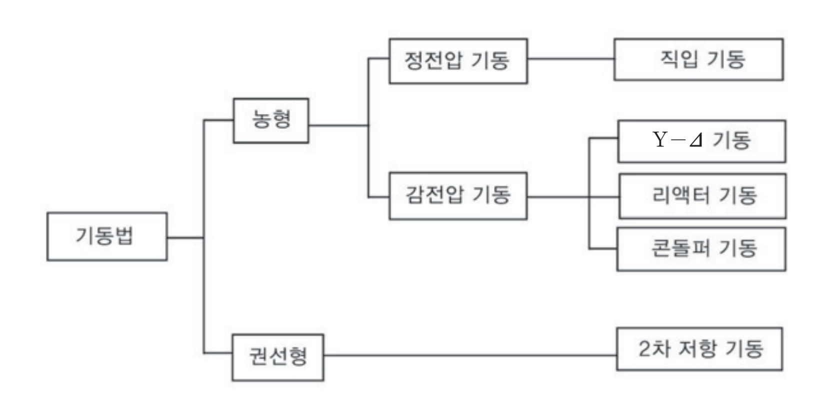


그림 Ⅴ-60 유도 전동기의 기동 방법

(1) 직입 기동(전전압 기동)

전전압 기동은 전동기 회로에 전전압을 직접 인가하여 구동하는 가장 간단한 방법이나, 기동 시에 충격이 있기 때문에 소용량에서만 사용한다.

(2) 스타 델타(Y-Δ) 기동

1) 일반적으로 저압 전동기는 5.5[kW] 이상이면 Y-Δ 기동이 가능하게 제작되어 있다.

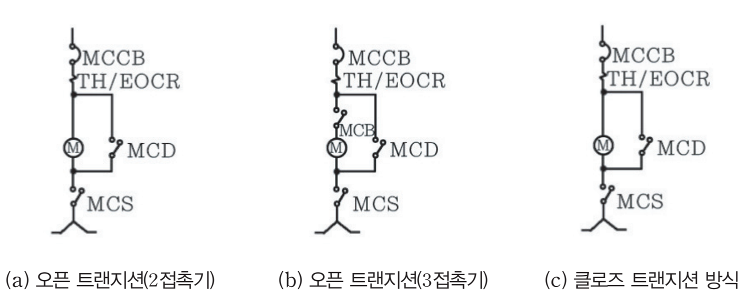
2) Y-Δ 기동은 기동 시에는 Y(스타) 결선으로 하여 인가 전압을 등가적으로 $\frac{1}{\sqrt{3}}$로 하며, 기동 전류와 기동 토크를 $\frac{1}{3}$로 되게 한다.

3) Y에서 Δ로 전환할 때에 전동기를 전원에서 분리하고 전환하는 오픈 트랜지션 방식과 전원을 분리하지 않고 전환하는 클로즈 트랜지션 방식이 있으며, 클로즈 트랜지션 방식은 전환 시에 돌입 전류가 작다.

4) 오픈 트랜지션 방식 사용 시에 3접촉기 방식을 사용하는 것으로 한다.

5) Y-Δ 기동 방식의 결선도는 그림 Ⅴ-61과 같이 세 종류가 있다.

여기서, MCCB: 주배선용 차단기, MCD: Δ결선용 전자 접촉기, TH/EOCR: 과부하 전류 보호기, MCB: 전동기용 전자 접촉기, MCS: Y 결선용 전자 접촉기



(a) 오픈 트랜지션(2접촉기)　(b) 오픈 트랜지션(3접촉기)　(c) 클로즈 트랜지션 방식

그림 V-61 Y-Δ 기동 방식의 결선도

(3) 리액터 기동

1) 리액터 기동은 전동기와 직렬로 리액터를 연결하여 리액터에 의한 전압 강하로서 전동기의 단자 전압을 내려서 기동 전류를 줄이는 방법이다.
2) 리액터 탭은 50-60-70-80-90[%]이며, 기동 토크는 25-36-49-64-81[%]이다.
3) 기동 전류는 전압 강하 비율로 감소하여 토크는 전압 강하의 제곱 비율로 감소하므로 토크 부족에 의한 기동 불능에 주의한다.
4) 기동 쇼크를 줄이는 완충 기동기(쿠션스타터)로 사용할 수 있으며, 그 단선도는 그림 V-62이다. (기동, 정지가 잦은 용도에서는 사용 못함.)
   - 기동 시: MCS on, MCR off
   - 운전 시: MCS off, MCR on

그림 V-62 리액터 기동

(4) 콘돌퍼 기동

1) 콘돌퍼 기동은 기동 시에 전동기의 인가 전압을 기동 보상기(단권 변압기)로 강압시켜 기동하는 기동 보상기 방법의 일종으로, 리액터 회로의 완충 기동기로 전환한 후에 클로즈 트랜지션하는 방법인데 그 단선도는 그림 V-63과 같다.
   - 기동 보상기 기동: MCS on, MCN on, MCR off
   - 리액터 전원: MCS on, MCN off, MCR off
   - 운전 시: MCS off, MCN off, MCR on

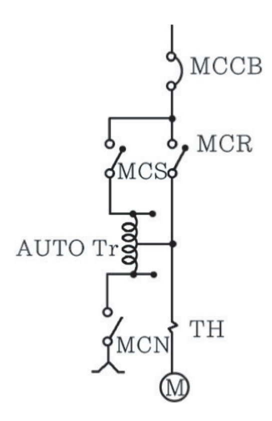


그림 V-63 콘돌퍼 기동

2) 일반적으로 기동 보상기의 탭은 50－65－80[%]이며, 이때 기동 토크는 25－42－64[%]로 변한다.

3상 유도 전동기의 기동기 종류와 특성은 표 Ⅴ－8에 기동 방법별 주요 특성과 차이점은 표 Ⅴ－9에 3상 유도 전동기의 기동기 종류와 특성은 표 Ⅴ－10에 각각 요약하여 두었다.

표 Ⅴ－8 3상 유도 전동기의 기동기 종류와 특성

기동법	전전압 직입 기동	감전압 기동				
		Y－Δ 기동	콘돌퍼 기동	리액터 기동	1차 저항 기동	구자 기동
회로 구성	FFB MC M	FFB M MC MC Y	FFB MC2 MC M MCR	FFB MC1 M MC2	FFB MC1 R M MC2	MC2 FFB M MC1
개요	전동기에 처음부터 전전압을 인가하여 기동한다.	Δ 결선으로 운전하는 전동기를 기동 시만 Y 결선으로 기동, 최소 기동 전류, 최소 기동 토크는 전전압의 1/3이다.	V 결선으로 단권 변압기를 사용하여 전동기의 인가 전압을 낮추어서 기동한다.	전동기의 1차 측에 리액터를 넣어 기동 시에 전동기의 전압을 리액터의 전압 강하분 만큼 낮추어서 기동한다.	리액터 기동의 리액터 대신 저항기를 넣은 것이다.	3상 중에서 1상만 리액터 또는 저항기를 넣은 것으로, 리액터 기동의 일종이다.

표 Ⅴ-9 기동 방법별 주요 특성과 차이점

기동 방법		회로 구성(가격)	기동 특성	가속 특성	적용 대상
직입 기동		전동기 매우간단 (아주 저가)	• 기동 전류, 기동 토크 모두 크다. • 전원에 주는 영향이 크다. • 기동 시의 쇼크가 크다.	• 충분한 가속 토크를 얻을 수 있기 때문에 기동 시간이 아주 짧다.	일반
감전압 기동	Y−Δ 기동	전동기 간단 (저가)	• 기동 전류, 기동 토크 모두 작다. • 기동 전류를 조정할 수 없다.	• 토크의 증가가 적다. • 최대 토크가 작다. • 도중에 주회로를 일단 개방하기 때문에 전원에 쇼크를 줄 수 있다.	• 무부하 또는 경부하에서 기동 가능한 것 • 공작 기계 등
	리액터 기동	전동기 조금 복잡 (고가)	• 기동 전류를 작게 제한하는 만큼 기동 토크는 현저하게 작아진다. • 기동 전류는 리액터 탭으로 조정할 수 있다.	• 토크의 증가가 현저히 크다. • 최대 토크가 감전압 기동법 중에서 가장 크다. • 원활하게 가속할 수 있다.	• Y−Δ 기동에서는 가속이 곤란한 것 • 기동 시의 쇼크를 방지하고 싶을 때 사용 • 펌프, 팬 등
	콘돌퍼 기동	전동기 아주 복잡 (아주 고가)	• 기동 전류를 작게 제한하여도 기동 토크는 그만큼 작아지지 않는다. • 기동 전류는 단권 변압기의 탭으로 조정할 수 있다.	• 토크의 증가가 조금 적다. (Y−Δ 기동보다 크다.) • 최대 토크는 조금 작다. • 원활하게 가속할 수 있다.	• 특별히 기동 전류를 제한하고 싶을 때 사용 • 펌프, 팬 등

표 Ⅴ-10 3상 유도 전동기의 기동기 종류 및 특성

구분	전전압 직입 기동	감전압 기동			
		스타 델타 기동 (오픈 트랜지션)	스타 델타 기동 (클로즈 트랜지션)	리액터 기동	콘돌퍼 기동
회로 구성	MCB MCOLR	MCCB OLR MCD MCS	OLR MCCB MCB MCS	MCR 리액터 OLR MCR 리액터탭 50-60-70-80-90%	MCCB MCR OLR 단권Tr탭50-65-80%
전류 특성 (선로 전류) %α	100 0	100 33 0	100 33 0	100 90 30 0	100 64 25 0
	I_s	$I_1=I_s\times\frac{1}{3}$	$I_1=I_s\times\frac{1}{3}$	$I_2=I_2\times\frac{V'}{V}$	$I_s=I_s\times\left(\frac{V'}{V}\right)^2$
	100 %	33.3 %	33.3 %	50-60-70-80-90 %	64-42-25 %
토크 특성 %β	100 % 토크 100 0 s=1 속도 → s=0	33 % 33 0	33 % 0	25-36-49-64-81 % 100 81 25 0	64-42-25 % 100 64 25 0
	T_s	$T_1=T_s\times\frac{1}{3}$	$T_1=T_s\times\frac{1}{3}$	$T_2=T_3\times\left(\frac{V'}{V}\right)^2$	$T_3=T_s\times\left(\frac{V'}{V}\right)^2$
	100	33.3	33.3	25-36-49-64-81	64-42-24
가속성	가속 토크 가장 큼. 기동 시의 쇼크 큼.	토크 증가 작용함. 최대 토크 작용함.	토크 증가 작음. 최대 토크 작음. 델타 전환 시의 쇼크 작음.	토크 증가 큼. 최대 토크 가장 큼. 원활히 가속함.	토크 증가 약간 작음. 최대 토크 약간 작음. 원활히 가속함.
가격	저렴	감압 기동에서는 가장 저렴	오픈 트랜지션보다 약간 고가	약간 고가	고가

2. 유도 전동기의 인버터 구동

인버터(Inverter)는 반도체 소자의 스위칭 기능을 이용하여 직류 전력을 교류 전력으로 변환하는 전력 변환 장치로 VVVF(Variable Voltage Variable Frequency) 기능을 한다. 인버터는 제어 소자로 GTO 사이리스터 또는 IGBT 소자를 사용하여 그림 V-64의 스위칭 패턴과 같이 구동하여 직류 전력을 3상 교류(동력 운전 상태)로 변환하거나 3상 교류 전력을 직류 전력(회생 상태)로의 변환이 가능한 전력 변환 장치이다. 그리고 유도 전동기의 속도와 회전력 등을 제어하기 위하여 가변 전압(Variable Voltage)와 가변 주파수(Variable Frequency)를 출력시키는 장치다.

타여식 인버터는 외부로부터 무효 전력의 보상을 받는다. 회로로서는 단상·다상 정류 회로가 그대로 인버터를 형성하고 있다. 일반적으로 변압기는 DC를 입력하여서는 출력을 낼 수가 없고, 변압기가 타버리고 만다.

그런데 DC를 입력하여야 할 필요성이 생길 때가 있다. DC 12 V 건전지로 AC 220V 용의 전자 기기를 사용할 경우에 그런 필요성이 생기게 되고, 일반적인 DC 전원 공급 장치가 AC를 DC로 바꾸는 주는 것에 비하여 역으로 DC를 AC로 바꾸어 주므로 인버터라는 이름이 붙게 된 것이다. 인버터의 기본 원리는 입력 전압을 이용하여 제어 회로를 구동시키고, 그 제어 회로는 입력 DC 전원을 캐리어 고주파로 단속(chopper)하여 그 단속 전압을 정현파 또는 구형파로 변조시켜 교류 출력을 얻을 수 있게 된다.

고주파로 바꾸는 까닭은 주파수(f)가 큰 고주파를 전동기 코일에 인가할 때에

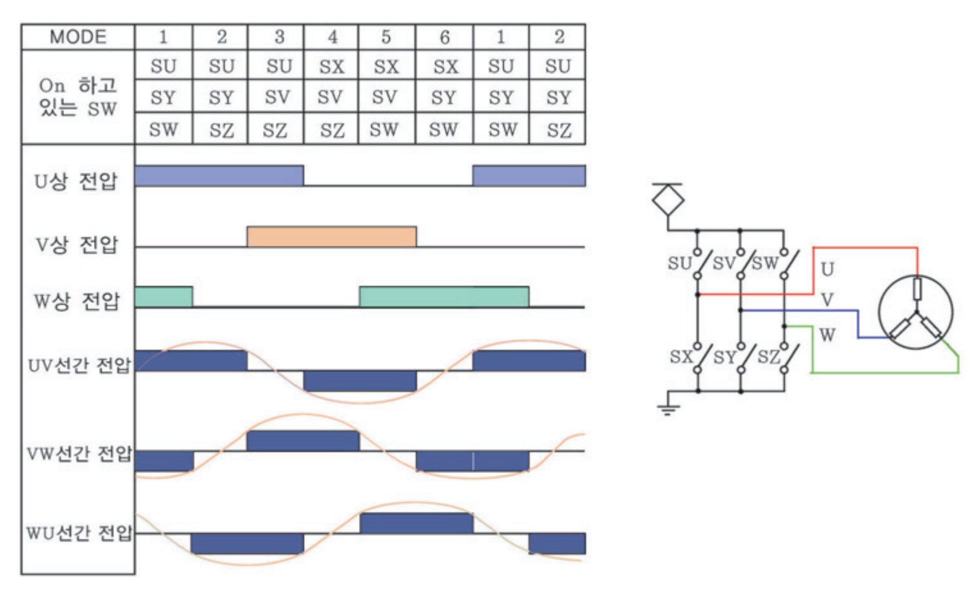


그림 V-64 VVVF 인버터의 스위칭 패턴

$X_L=2\pi fL$라는 권선의 임피던스에 따라 L가 아주 작아도 X_L값이 크게 되므로, 변압기의 부피와 무게가 대폭 줄어들고 입력 측의 단속비(duty)에 따라 전력을 다른 곳에 소비할 필요 없이 출력으로 나타나게 할 수 있으므로 일반 상용 주파수에 사용하는 변압기보다 효율적으로 전압을 바꿀 수가 있기 때문이다.

(1) 전압형 인버터와 전류형 인버터

전류형 인버터는 입력이나 출력 전압이 변해도 일정한 전류를 출력하는 인버터이고, 전압형 인버터는 입력 전압이나 부하에 의하여 전류가 변하여 출력 전압이 바뀌려 하여도 바뀌려 하는 전압만큼 자동으로 보정을 해 주어 항상 일정한 전압을 내게 하는 인버터이다.

(2) 상에 따른 인버터의 종류

전기를 잘게 토막 내어 짜르는 것을 초퍼(Chopper)라고 하며, 단상 트랜지스터 인버터는 초퍼하는 소자로 트랜지스터를 사용하여 단상 AC 전압을 출력하는 인버터이고, 2상 인버터는 2상 AC 전압을 출력하는 인버터이며, 또 3상 트랜지스터 인버터는 초퍼하는 소자가 트랜지스터이고 3상 AC 전압을 출력하는 인버터이다. 2상은 두 상이 위상차 180°를 가지고 있고 단상보다 두 배의 전력을 가지며, 3상은 3상이 위상차 120°를 가지고 있고 단상보다 세 배의 전력을 출력할 수 있다.

산업체에서 속도 제어를 필요로 하는 동력원으로 과거에는 주로 직류 전동기가 이용되어 왔고, 유도 전동기는 정속도 운전에 많이 사용되어 왔다.

그러나 1957년 사이리스터(Thyristor, SCR)가 개발되고, 1960년대에 이르러 전력 전자 분야의 발전과 함께 유도 전동기도 속도 제어가 가능하게 되었다. 반도체 소자를 이용한 유도 전동기의 속도 제어 방식에는 여러 가지가 있으나, 대표적인 방법은 1차 전압 제어 방식과 주파수 변환 방식이다.

유도 전동기의 속도를 정밀하게 제어하려면 전압과 주파수 변환이 필요하다. 인버터는 직류 전력을 교류 전력으로 변환하는 장치로, 직류로부터 원하는 크기의 전압과 주파수를 가진 교류를 얻을 수 있으므로 유도 전동기의 속도 제어는 물론이고 효율제어, 역률 제어 등이 가능하며 예비 전원, 컴퓨터용 무정전 전원 장치(UPS)와 태양 전지 출력 등의 직류 송전 등에 응용되고 있다.

인버터는 엄밀하게 말하면 직류 전력을 교류 전력으로 변환하는 장치이지만, 우리가 쉽게 얻을 수 있는 전원이 교류이므로 교류 전원으로 부터 직류를 얻는 장치까지를 인버터 계통에 포함시키고 있다.

(3) 인버터 사용의 필요성

공정 제어(process control), 공장 자동화, 에너지 절약 용도로 많이 사용하고 있다. 예를 들면, 가열로 송풍기(Blower)의 경우에 제품의 종류나 생산량에 따라 인버터를 사용 송풍기 속도를 조정함으로써 풍량 조절이 가능하여 가열로 내의 온도를 최적의 온도로 조절함으로써 제품의 질적 향상을 꾀할 수 있다. 그뿐만 아니라, 이때에 소요 동력은 풍양 감소의 세제곱에 비례하여 감소하므로 커다란 에너지 절감 효과를 얻을 수 있다.

(4) 인버터 사용의 장점

1) DC 모터나 권선형 모터의 속도 제어에 비하여 AC 모터 사용 시

- 모터의 구조가 간단하며 컴팩트하다.
- 보수와 점검이 용이하다.
- 모터가 개방형, 전폐형, 방수형, 방식형 등 설치 환경에 따라 보호 구조가 가능한 특징을 가지고 있다.
- 부하 역률과 효율이 높다.

2) 일반적인 팬(FAN), 블로워(BLOWER)용 댐퍼(DAMPER)를 비롯하여 V.S MOTOR 또는 기계적 무단 속도 제어 방식에 비하여

- 순간 정전, 부하단 단락 등에 대한 내구성이 뛰어나다.
- TRIP 원인을 제거한 후에 자동적으로 재기동할 수 있는 기능을 가지고 있다.
- 주변 회로가 간단하고 조작성이 뛰어나다.
- 많은 보호 기능을 가지고 있을 뿐만 아니라, 자기 진단 기능을 가지고 있어 고장 원인의 식별이 용이하다.
- 속도 제어 범위가 광범위하다.
- 다단 속도 조정 등의 기능으로 조작이 간단하고, 생산성 향상과 품질의 극대화를 꾀할 수 있다.
- 기동 전류가 정격 전류 이하(일반적으로 기동 전류는 정격 전류의 6~7배)이므로, 기동 전류에 따른 전압 강하가 없고 변압기와 부속 설비 용량을 증가시킬 필요가 없다.
- PLC 등의 연동 운전에 의하여 공장 자동화가 가능하다.
- 팬(FAN), 펌프(PUMP), 블로워(BLOWER)와 같은 부하에 적용 시에 에너지 절감 효과가 크다.

- 크래인(CRANE), 호스트(HOIST), 컨베이어(CONVEYER) 등에 적용할 때, 소프트-기동 / 소프트-정지 (SOFT-START/ SOFT-STOP)이 가능하므로 기계적 파손과 제품의 파손을 방지할 수 있다.
- 운전 효율이 높다.

(5) 유도 전동기의 인버터 제어 원리

유도 전동기 속도 제어 방식에는 아래 식과 같이 주파수 f를 변화시키든지 모터의 극수 p나 슬립 s을 변화시키면 임의의 회전 속도 N을 얻을 수 있다.

$$N = \frac{120f}{p}(1-s) \qquad (\text{V}-12)$$

1) 극수(p) 제어

그림 Ⅴ-65와 같이 연속 제어가 불가능하며 극수의 값에 따라 한 점에서만 속도가 제어된다.

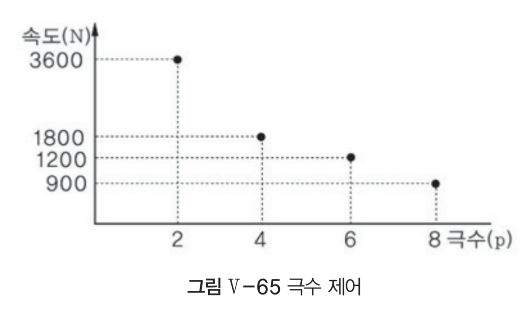


그림 Ⅴ-65 극수 제어

2) 슬립(S) 제어

그림 Ⅴ-66과 같이 슬립을 제어할 경우에 저속 운전할 때 손실이 커지게 된다.

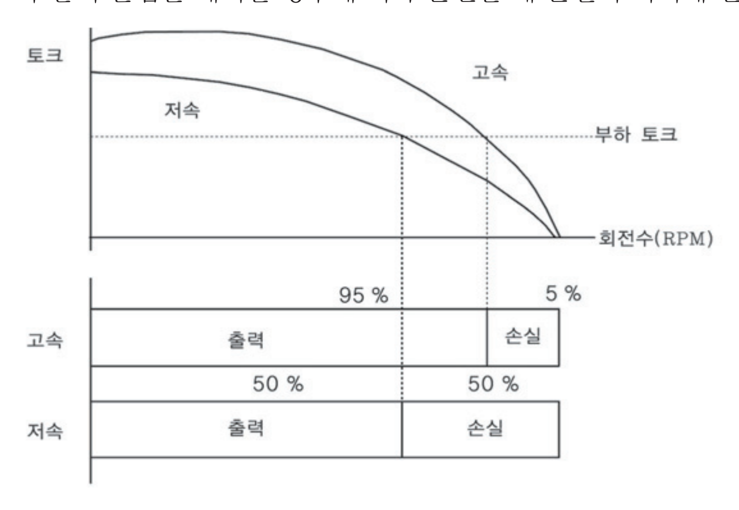


그림 Ⅴ-66 슬립 제어

3) 주파수(f) 제어

모터에 가해지는 주파수를 변화시키면, 그림 Ⅴ-67과 같이 극수(p) 제어와는 달리 어떤 속도(rpm)에서도 연속적인 속도 제어가 가능하고, 또 그림 Ⅴ-66과 같이 슬립(s) 제어보다 더 고효율 운전이 가능하게 된다.

따라서, 이 주파수(f) 제어 원리를 이용하여 모터의 가변속을 실행하는 것이 인버터이다. 인버터는 교류를 일단 직류로 변환시켜 이 직류를 트랜지스터 등의 반도체 소자의 스위칭에 의하여 교류로 역변환을 한다. 이때, 스위칭에 의하여 교류로 역변환을 하며, 스위칭 간격을 가변시킴으로써 주파수를 임의로 변화시키는 것이다.

실제로는 모터 운전 시에 충분한 토크를 확보하기 위하여 주파수뿐만 아니라, 전압도 주파수에 따라 가변시킨다. 이런 인버터를 VVVF(variable voltage variable frequency) 인버터라고 한다.

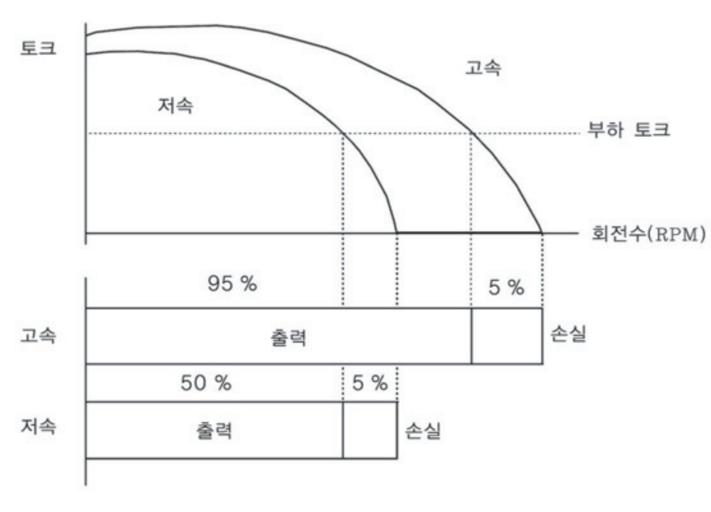


그림 Ⅴ-67 주파수 제어

(6) 인버터의 종류

1) 전류형 인버터

전류형 인버터는 그림 Ⅴ-68과 같이 DC LINK 양단에 평활용 콘덴서 대신에 리액터 L을 사용하는데, 인버터 측에서 보면 고 임피던스 직류 전류원으로 볼 수 있으므로 전류형 인버터라고 한다. 이 전류형 인버터는 전류 일정 제어가 가능하다.

① 전류형 인버터의 구성

전류형 인버터는 표 Ⅴ-11과 같이 구성된다.

표 Ⅴ-11 전류형 인버터의 구성

구성	작용
컨버터부	제어 정류기(Controled Rectifier)라고 하며, 인버터 출력 전류의 크기를 제어한다.
DC-LINK부	DC-LINK 내의 직류 전류를 평활시킨다.
인버터부	제어 정류기에서 제어된 직류 전류를 인버터부가 원하는 주파수로 스위칭하여 출력시킨다.
출력 주파수 제어	출력 주파수를 제어한다.

② 출력 전압과 전류 파형

전류형 인버터의 출력 전압과 전류 파형은 구형파이며 전압 파형은 정현파이다.

- 전류 파형: 구형파
- 전압 파형: 정현파

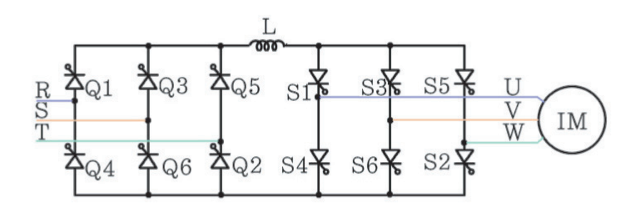


그림 Ⅴ-68 전류형 인버터 구성도

③ 전류형 인버터의 특징

전류형 인버터는 다음과 같은 특징을 가진다.

- 회생(Regeneration)이 가능하다.
- 인버터의 주 소자를 TURN-OFF 시간이 비교적 긴 위상 제어용 사이리스터를 사용한다.
- 전류 제어를 할 경우에 토크-속도 곡선의 불안정 영역에서 운전되므로 반드시 전류 제어 루프가 필요하다.
- 인버터의 동작 주파수의 최소치와 최대치가 제한된다(6~66 Hz).
  - 최소 주파수: 전동기의 맥동 토크
  - 최대 주파수: 인버터의 전류 실패(Commutation Failure)
- 인버터 출력단과 모터 사이에 역률 개선용 진상 콘덴서 사용이 가능하다.

④ 전류형 인버터의 장단점

전류형 인버터는 표 Ⅴ-12와 같은 장단점이 있다.

표 Ⅴ-12 전류형 인버터의 장단점

장점	단점
• 4상한 운전이 가능하다. • 전류 회로가 간단하며, 고속 사이리스터가 필요 없다. • 전류가 제한되므로 PULL-OUT 되지 않는다. • 과부하 시에도 속도만 낮아지고 운전이 가능하다. • 넓은 범위에서 효과적인 토크 제어를 할 수 있다. • 유도성 부하 외에 용량성 부하에도 사용할 수 있다. • 스위칭 소자와 출력 변압기의 이용률이 높다. • 일정 전류 특성으로 강력한 전압원을 가하게 되어 기동 토크가 크다.	• FEEDBACK(CLOSED LOOP 제어 방식)이 필수적이므로 제어 회로가 복잡하다. • 구형파 전류로 인하여 저주파수에서 토크 맥동이 발생한다. • 부하 전류 인버터(LOAD COMMUTATED INVERTER)이므로 전압 SPIKE가 크며, 따라서 전동기 동작에 영향을 줄 수 있다. • 부하 전동기 설계시 누설 인덕턴스 문제와 회전자에서의 표피 효과를 고려하여야 한다.

2) 전압형 인버터

전압형 인버터는 현재 널리 사용되고 있는 인버터로 전력 형태는 그림 Ⅴ-69와 같다. 교류 전원을 사용할 경우에는 교류측 변환기 출력의 맥동을 줄이기 위하여 LC 필터를 사용하는데, 이를 인버터 측에서 보면 저 임피던스 직류 전압원으로 볼 수 있으므로 전압형 인버터라고 한다.

제어 방식이 PAM(Pulse Amplitude Modulation) 제어인 경우에 컨버터부에서 전압이 제어되고 인버터부에서 주파수가 제어되며, PWM 제어인 경우 컨버터부에서 정류된 DC 전압을 인버터부에서 전압과 주파수를 동시에 제어하는 VVVF 인버터로 동작한다.

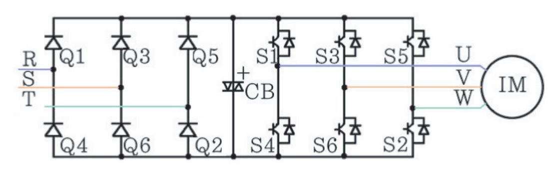


그림 Ⅴ-69 전압형 인버터 구성도

① **전압형 인버터의 구성** 전압형 인버터는 표 Ⅴ-13과 같이 구성된다.

표 Ⅴ-13 전압형 인버터의 구성

구성	작용
컨버터부	SCR대신에 3상 다이오드 모듈을 사용하여 교류 전압을 직류로 정류시킨다.
DC-LINK부	DC-LINK 내의 직류 전압을 평활용 콘덴서 CB를 이용하여 평활시킨다.
인버터부	정류된 직류 전압을 PWM 제어 방식을 이용하여 인버터부에서 전압과 주파수를 동시에 제어한다.

② 출력 전류와 전압 파형

- 전류 파형: 정현파(전동기 부하인 경우)
- 전압 파형: PWM 구형파

③ 전압형 인버터의 특징

전압형 인버터는 다음과 같은 특징을 가진다.

- 1, 2상한 운전만 가능하며, 4상한 운전이 필요한 경우에는 이 중에서 인버터(Dual Inverter)를 사용하여야 한다.
- 전류 파형의 최댓값이 높게 되어 주소자와 변압기의 용량이 필요 이상으로 커지게 된다.
- PWM 파형에 의해 인버터와 모터 간에 역률 개선용 진상 콘덴서와 서지 흡수기를 부착할 수 없다.
- 인버터의 주소자를 TURN−OFF 시간이 짧은 IGBT, MOSFET, Power Transister을 사용한다.
- 인버터 출력 주파수 범위가 광범위하다.

④ 전압형 인버터의 장단점

전압형 인버터는 표 Ⅴ−14와 같은 장단점이 있다.

표 Ⅴ−14 전압형 인버터의 장단점

장점	단점
• 모든 부하에서 정류(commutation)가 확실하다. • 속도 제어 범위가 1 : 10까지 확실하다. • 인버터 계통의 효율이 매우 높다. • 제어 회로와 이론이 비교적 간단하다. • 주로 소 · 중 용량에 사용한다.	• 유도성 부하만을 사용할 수 있다. • REGENERATION을 하려면 DUAL CONVERTER가 필요하다. • 스위칭 소자와 출력 변압기의 이용률이 낮다. • 전동기가 과열되는 등으로 인하여 전동기의 수명이 짧아진다. • $\frac{dv}{dt}$ 보호(PROTECTION)가 필요하다.

3) 인버터 제어 방식

① PAM 제어 방식

PAM(Pulse Amplitude Modulation) 제어는 컨버터부에서 AC 전압을 DC 전압으로 변환 시에 다이오드 모듈 대신 사이리스터 모듈을 사용하여 위상 제어 기법으로 직류 전압의 순시치를 제어하고, 동시에 인버터부에서 주파수를 제어하는 방식이다.

② PWM 제어 방식

PWM(Pulse Width Modulation) 제어는 컨버터부에서 다이오드 모듈을 이용하여 AC 전압을 DC 전압으로 정류시켜 콘덴서로 평활시킨 다음, 인버터부에서 직류 전압을 초핑(CHOPPING)하여 펄스 폭을 변화킴으로써 인버터 출력 전압을 변화시키며, 동시에 주파수를 제어하는 방식이다.

펄스 폭이 $\frac{1}{2}$ 주기에 있어서 같은 간격인 등간격 펄스 폭 제어와 중앙부에서 양단으로 좁아지는 부등 간격 펄스 폭 제어가 있다. 표 Ⅴ-15는 PWM과 PAM 제어 방식의 비교한 것이다.

표 Ⅴ-15 PWM과 PAM 제어 방식 비교

<table>
<tr><th rowspan="2">순서</th><th rowspan="2">제어 방식 항목</th><th colspan="2">PWM 제어</th><th rowspan="2">PAM 제어</th></tr>
<tr><th>부등 간격 펄스폭 제어(PM)</th><th>등간격 펄스폭 제어(DM)</th></tr>
<tr><td>1</td><td>출력 전압 파형</td><td>PWM 구형파</td><td>PWM 구형파</td><td>정현파</td></tr>
<tr><td>2</td><td>출력 전류 파형</td><td>정현파</td><td>정현파</td><td>구현파</td></tr>
<tr><td>3</td><td>적용 인버터</td><td colspan="2">전압형 인버터</td><td>전류형 인버터</td></tr>
<tr><td>4</td><td>제어 회로</td><td>복잡</td><td>간단</td><td>간단</td></tr>
<tr><td>5</td><td>모터 효율</td><td>○</td><td>△</td><td>×</td></tr>
<tr><td>6</td><td>인버터 효율</td><td colspan="2">95 % 정도</td><td>90 % 정도</td></tr>
<tr><td>7</td><td>전원 역율</td><td colspan="2">80～94 %</td><td>90 % 정도</td></tr>
<tr><td>8</td><td>진동</td><td colspan="2">○</td><td>△</td></tr>
<tr><td>9</td><td>전원 고조파</td><td colspan="2">○</td><td>×</td></tr>
<tr><td>10</td><td>장점</td><td>• 응답성이 좋다.
• 전원 역률이 높다.
• 주회로가 간단하다.
• 모터 효율이 높다.
• 저속 진동 영향이 적다.
• 고속 운전이 가능하다.</td><td>• 응답성이 좋다.
• 전원 역률이 높다.
• 인버터 효율이 높다.
• 회로가 간단하다.</td><td>• 고조차 노이즈가 적다.
• 내구성이 강하다.</td></tr>
<tr><td>11</td><td>단점</td><td>• 고차 노이즈가 크다.
• 과부하 내량이 적다.</td><td>• 전원 이용률이 낮다.
• 저속에서 진동이 크다.
• 고차 노이즈가 크다.</td><td>• 전원 역율이 낮다.
• 응답성이 나쁘다.
• 주회로가 복잡하다.
• 저속에서 진동이 크다.</td></tr>
</table>

3 벡터 제어

벡터 제어는 1969년 독일의 하세(Hasse, K.)가 교류 전동기 전류를 d축 성분과 q축 성분으로 분리하여 각각을 따로 제어함으로써 유도 전동기를 거의 직류 전동기처럼 제어할 수 있다는 것을 유명한 지멘스(Siemens) 사의 사보에 논문으로 발표하여 알게 되었다. 또, 1972년에 F. Blaschke(독일)는 회전 자계의 계자 지향 벡터 제어(field orientation)에 관한 원리를 발표하였다.

즉, "벡터 제어란 교류 전동기(유도 전동기나 동기 전동기)를 타여자 직류 전동기 제어에서처럼 계자 성분(d축 성분: 직류기의 계자 전류에 의한 자속 성분)과 토크 성분(q축 성분: 직류기의 전기자 전류에 의한 토크 성분)으로 나누어 타여자 직류 전동기처럼 제어하여 제어 특성을 직류 전동기처럼 향상시키고자 고안된 제어 방법"이라고 요약할 수 있다.

이를 요약하면, 유도 전동기를 가장 이상적인 제어 특성을 가지는 타여자 직류 전동기와 같게 제어하려는 방법이다. 그것은 자속과 토크를 별도로 제어한다는 것을 의미하며, 이렇게 하면 비례적인 제어가 가능하고 속도 제어 특성이 매우 개선되게 된다. 제어에서는 대부분 제어의 선형성과 빠른 응답성이 가장 중요한 특성이다.



권선형 유도 전동기의 2차 저항 가변에 의한 속도-토크 제어

<도면>

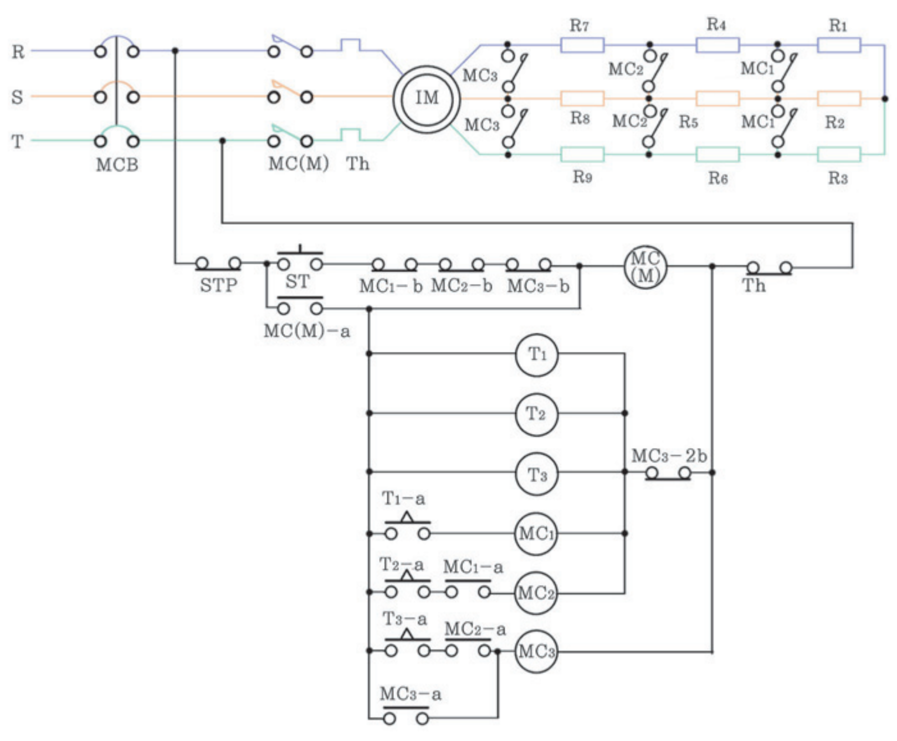


그림 Ⅴ-70 권선형 유도 전동기의 2차 저항 가변에 의한 속도-토크 제어

사용 재료와 기기

3상 유도 전동기(3상, 220[V], 0.75[kW]) 1조, 전원: 3상 220[V], 교류 전압계(0~250[V] 이상) 1개, 훅 미터(AC/DC 1000A전류, R 측정) 1개, 타코미터(0~3500[rpm]) 1개, 공구 세트(배선에 필요한 공구) 1조, 타이머(30분 2접점) 3개, 계전기(220[V], 30[A], 3접점 2개) 4개, 전자 접촉기(220[V], 30[A], 3상) 2개

안전과 유의 사항

1. 회로 결선이 정확히 결선되었는지를 최종 확인한다.
2. 전자 접촉기(electromagnetic contactor)의 결선 잘못으로 선간 전압이 단락되지 않게 주의한다.

3. 220 V의 교류 전압에서 시험하므로 감전에 주의한다.
4. 전동기 용량이 큰 경우에는 운전 시에 옷이나 기타 신체 일부가 회전축에 말려 들어가지 않게 특별한 주의가 필요하다.

실습 순서

1. 도면(그림 Ⅴ-70)과 같이 결선 후 오결선이 없는지 반드시 재확인한 후, 회로에 전압을 투입하기 위하여 배선용 차단기 MCB를 투입한다.
2. 기동 스위치 ST를 누른다.
3. 기동 스위치 ST를 누르면 주전자 접촉기 MC(M)이 작동하는지를 확인한다.
4. 주전자 접촉기 MC(M)이 작동하면, MC(M)×a 접점이 닫힌다.
5. MC(M)×a 접점이 닫히면 권선형 유도 전동기 IM은 전저항으로 기동한다.
6. 주전자 접촉기 MC(M)의 작동에 의하여 MC(M)의 a 접점 MC(M)−a 접점이 닫혀 자기 유지된다.
7. MC(M)−a 접점에 의하여 타이머 T_1, T_2, T_3가 작동을 개시한다.
8. 타이머 T_1의 설정 시간이 지나면 T_1의 한시 a 접점 T_1−a가 닫혀 전자 접촉기 MC_1이 작동한다. 이로 인하여 저항 R_1, R_2, R_3를 단락시킨다.
9. 전자 접촉기 MC_1이 작동하면, MC_1의 주접점 MC_1−a가 작동하고, MC_1−a접점이 닫힌 후, 타이머 T_2의 설정된 시간이 지나면 타이머 접점 T_2−a가 닫혀 전자 접촉자 MC_2가 여자되고, 이로 인하여 저항 R_4, R_5, R_6을 단락시킨다.
10. 전자 접촉기 MC_2가 작동하면, MC_2의 주접점 MC_2−a이 작동하고, MC_1−a접점이 닫힌 후, 타이머 T_3의 설정된 시간이 지나 전동기 속도가 어느 정도 상승되면 타이머 접점 T_3−a가 닫혀 전자 접촉자 MC_3가 여자되고, 이로 인하여 저항 R_7, R_8, R_9를 단락시킨다. 이때, 전동기 속도는 정격 속도로 된다.
11. 전자 접촉기 MC_3가 여자되면, MC_3−a접점이 동작하여 자기 유지 회로를 작동시킨다.
12. 전자 접촉기 MC_3가 여자되면, MC_3의 b접점 MC_3−b접점과 MC_3−2b접점이 열리어, T_1, T_2, T_3, MC_1, MC_2 회로가 모두 차단된다.
13. 이때, 권선형 유도 전동기 IM은 2차 저항이 모두 완전 단락되어 기동이 완성된다.

결과 정리

1. 위의 실습 순서에 따라 실습을 진행하면서 T_1, T_2, T_3의 시간에 따라 유도 전동기의 기동 속도를 측정하여 부하에 알맞은 속도 패턴을 다음 표에 기록한다.
2. 표 Ⅴ-16을 이용하여 그래프로 그려 본다.

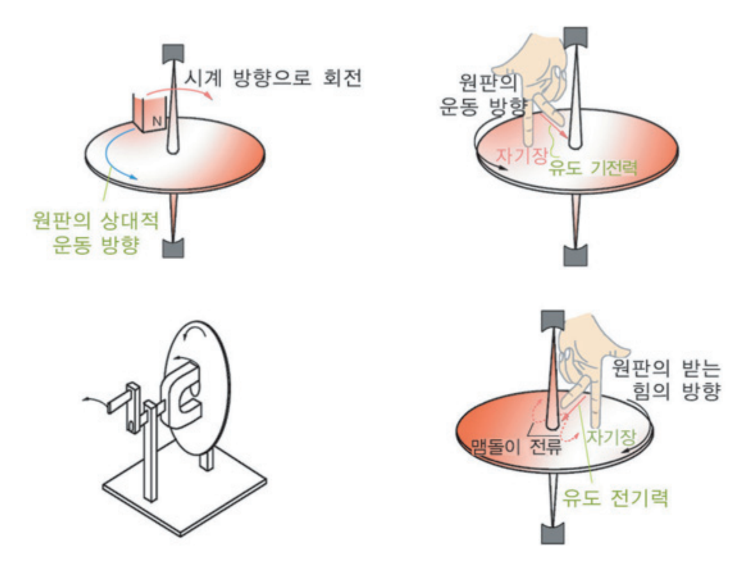
표 V－16 T_1, T_2, T_3 기동 시간 가변에 의한 부하에 알맞은 속도 패턴

시간 \ 속도		무부하	경부하	중부하
T_1	20초			
	15초			
	10초			
	5초			
T_2	10초			
	8초			
	4초			
	2초			
T_3	8초			
	4초			
	2초			
	1초			

3. 그려진 그래프의 변화를 관찰하며, 그 의미를 서로 토론한다.

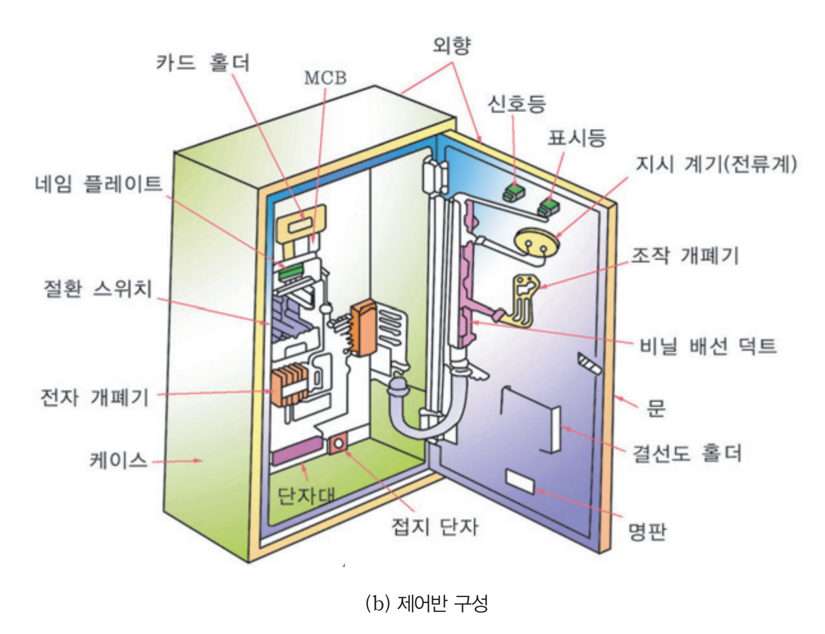
심화 과제

1. 아라고 원판에서 외부 영구 자석을 다음 그림과 같이 회전시킬 때에 발생하는 영구 자석에서 발생되는 자계와 맴돌이 전류(와류), 회전 토크 관계를 플레밍의 오른손 법칙과 왼손 법칙을 적용하여 3상 회전 자계와 결부시켜 상호 토론하여 본다.



(a) 아라고 원판과 농형 유도 전동기 회전 원리

2. 제어반의 구성을 그려 보고, 설명하여 본다.



(b) 제어반 구성

그림 Ⅴ-71 아라고 원판과 농형 유도 전동기 회전 원리와 제어반 구성

3. 3상 유도 전동기의 Y－⊿ 기동 방식의 실체 배선도를 그려 본다.

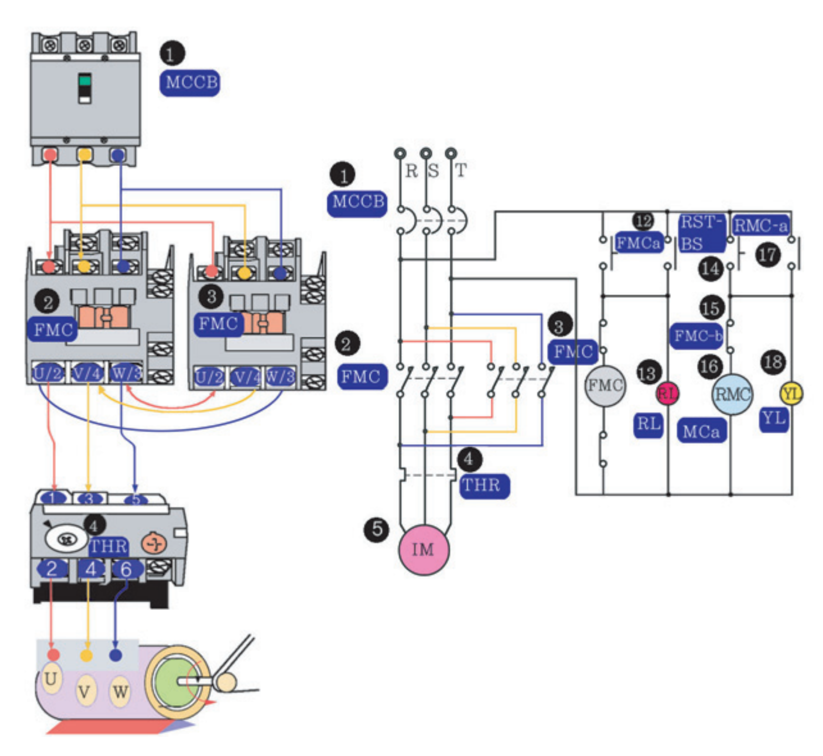


그림 Ⅴ－72 3상 유도 전동기의 Y－⊿ 기동 방식의 실체도

4 인버터의 결선과 운전

1. 3상 교류 전류에 의한 인버터 회전 원리

유도 전동기의 속도 제어는 인버터를 사용하며 산업체의 동력으로 가장 널리 사용되고 있다. 이 인버터의 결선 방법을 익히는 것은 전동력 응용을 활용하는 산업 설비 전반의 전동력 설비 제작에 가장 중요한 일 중 하나이다. 여기서는 인버터의 결선과 운전 방법을 알아본다.

그림 Ⅴ－73은 3상 유도 전동기의 속도 제어의 한 예이다. 여기서 컨버터는 3상 60[Hz] 교류 전압을 직류 전압으로 바꾸어 주는 3상 정류 회로이고, 인버터 회로는 직류 전압을 주파수가 다른(0～90[Hz] 범위) 교류 전원으로 바꾸어 주는 장치이다.

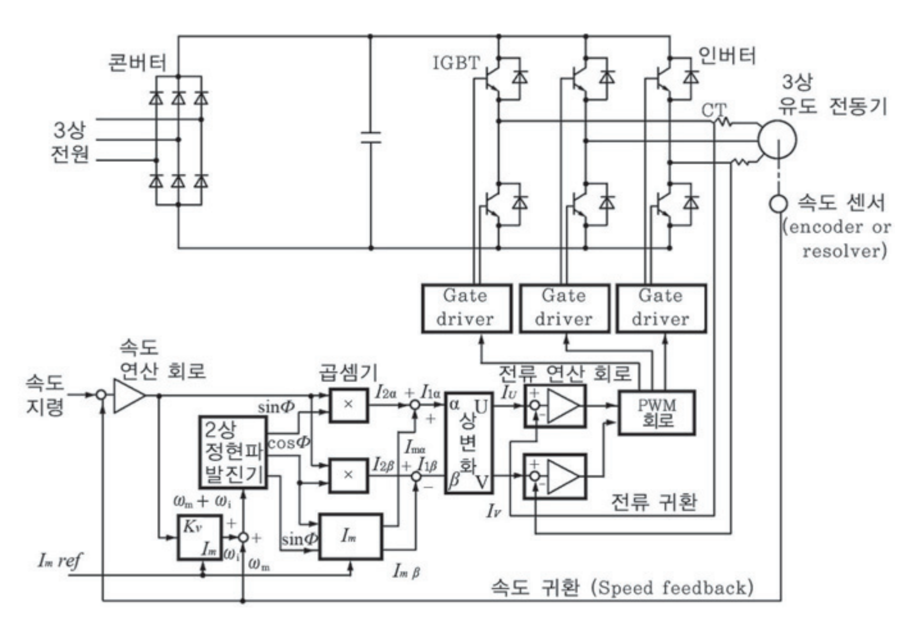
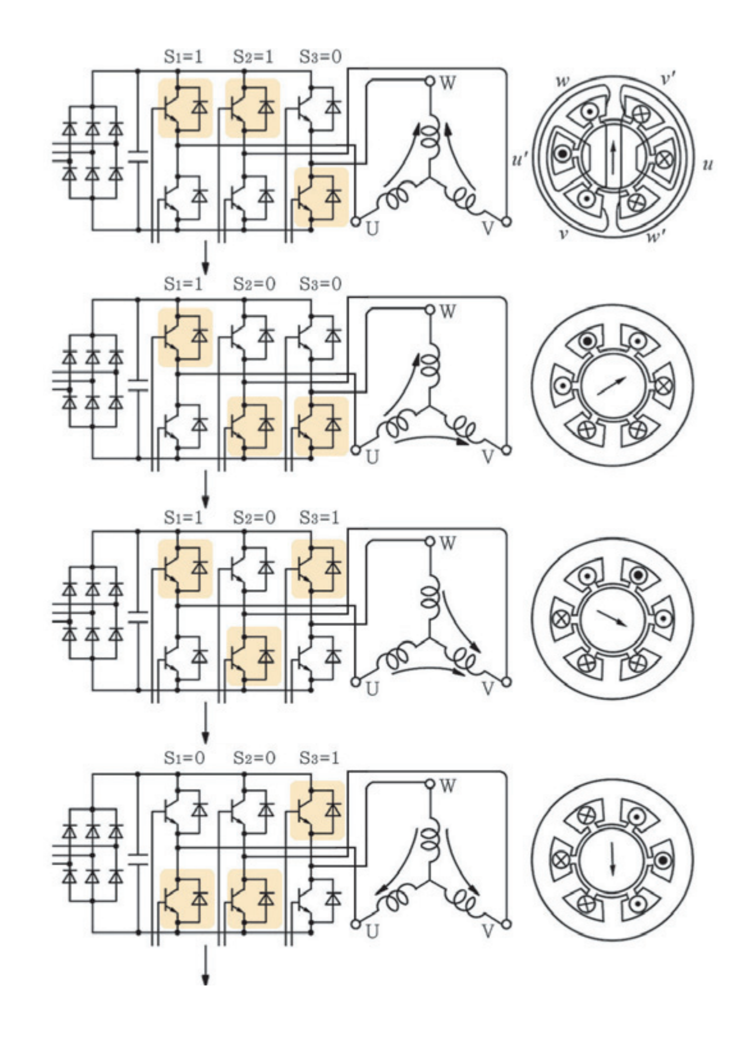


그림 Ⅴ-73 3상 유도 전동기의 속도 제어(인버터) 구조



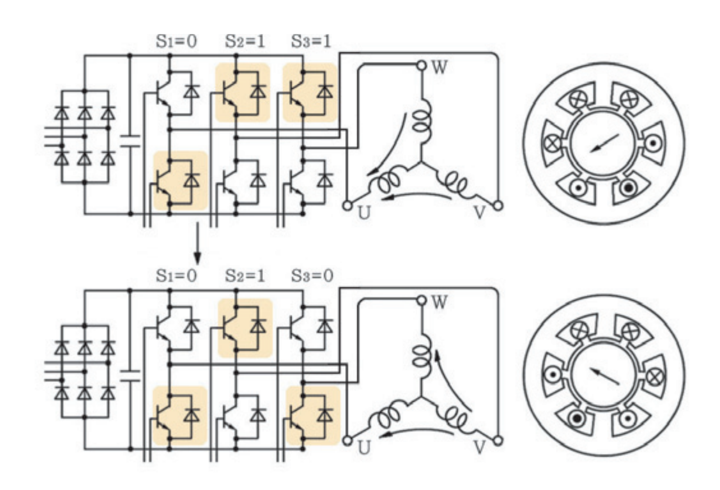


그림 Ⅴ-74 3상 교류 인버터의 스위칭 패턴과 회전자 회전 위치

게이트 구동 회로(gate driver)는 IGBT 소자를 정확히 ON/OFF시켜 주는 회로이고 속도 연산 회로와 전류 연산 회로는 각각의 오차를 영(zero)으로 하기 위한 회로이다.

곱하기 회로는 전동기의 회전 속도에 비례하여 토크를 제어하기 위한 회로이다.

3상 교류 전원으로부터 3상 유도 전동기의 각상에 3상 교류 전류를 그림 Ⅴ-74(왼쪽 회로)와 같이 흘렸을 때, 그 전류에 해당하는 회전 자계의 발생을 그림 Ⅴ-74의 오른쪽 모터 내부 자계 벡터로 나타내고 있다. 즉, 3상 교류 인버터의 스위칭 패턴과 회전자 회전 위치를 보여 주고 있다. 동작 조건은 스위칭 소자 S_1, S_2, S_3에서 각각 위쪽과 아래쪽 스위치는 동시에 동작할 수 없고, 위쪽과 아래쪽은 같은 시각에는 정반대로 동작하게 구성하여 준다.

그림 Ⅴ-75는 시중 인버터의 외형을 보여 준 것이다.



그림 Ⅴ-75 인버터 외형

여기서 3상 교류스위칭 패턴을 S_1, S_2, S_3 순으로 ① 110 ⇒ ② 100 ⇒ ③ 101 ⇒ ④ 001 ⇒ ⑤ 011 ⇒ ⑥ 010 ⇒ (다시 처음부터) ① 110 ⇒로 반복하면 시계 방향으로 회전하게 되었다면 여자 순서를 ⑥ ⇒ ⑤ ⇒ ④ ⇒ ③ ⇒ ② ⇒ ① ⇒ ⑥ 순으로 여자시키면 시계 반대 방향으로 회전하게 된다. 시작은 어느 번호에서 시작하여도 여자 순서만 맞으면 상관없다.

2. 인버터의 결선과 제어 판넬 제작과 유의점

인버터를 컨트롤 패널에 조립될 때에 다음 사항에 주의하는 것이 중요하다.

(1) 인버터의 외형 치수와 냉각

메카트로닉스 기계에 적당한 서보 제어를 하기 위하여는 서보 컨트롤, 서보 드라이브, 시퀀스 컨트롤 등이 컨트롤 패널에 조립된다.

인버터의 용량은 AC 서보 모터의 운전에 충분한 것을 선택하고 인버터는 개방, 수직 벽걸이식 설치가 기본이고 컨트롤 패널은 다음 조건에 주의가 필요하다.

(2) 컨트롤 패널이 견디는 온도

인버터의 패널이 견디는 온도는 0～50 ℃의 범위이다.

(3) 가까이에 발열체가 있는 경우

가까이에 발열체가 있는 경우는 대류, 복사보다 서보 드라이브의 온도 상승을 높일 우려가 있기 때문에 주의하여야 하다.

(4) 서보 드라이브의 설치 자세

서보 드라이브 유닛은 수직 벽걸이식 설치가 기본이다. 옆방향과 역방향의 설치 경우, 유닛에 보강이 필요하기 때문에 제작 회사로 확인하여야 한다.

서보 유닛의 냉각은 소용량에서는 자연 풍랭, 1.5k[W] 이상의 대용량에서는 냉각 팬에 의하여 강제 풍랭한다. 자연 풍랭의 유닛에는 상하로 1[cm], 강제 풍랭의 유닛에는 상하로 10[cm] 이상의 간격을 띄어 두면 좋다.

(5) 노이즈 대책

패널 내의 동력 케이블과 제어 케이블의 배선로는 충분히 분리한다. 양 케이블이 교차할 때에는 직각으로 교차시켜서 평행으로 나란히 세우지 않는 것은 교차 노이즈 억

제를 위하여 필요하다. 제어 케이블, 피드백 신호 케이블에는 실드 케이블을 사용하고 실드선은 정확히 접지한다.

(6) 진동

서보 드라이브 유닛의 설치 상태에서 허용 진동 가속도는 수송 시에는 1.5 G 이하, 운전 시에는 0.5 G 이하이다. 서보 드라이브 유닛에 과대한 진동이 가하지 않게 배려한다.

(7) 케이스 접지

서보 드라이브의 케이스에는 대지 접지 단자가 설치되어 있다. 이 단자를 접지하면 노이즈의 방지 효과가 있다.

실습
과제 6

인버터 결선과 운전

<도면>

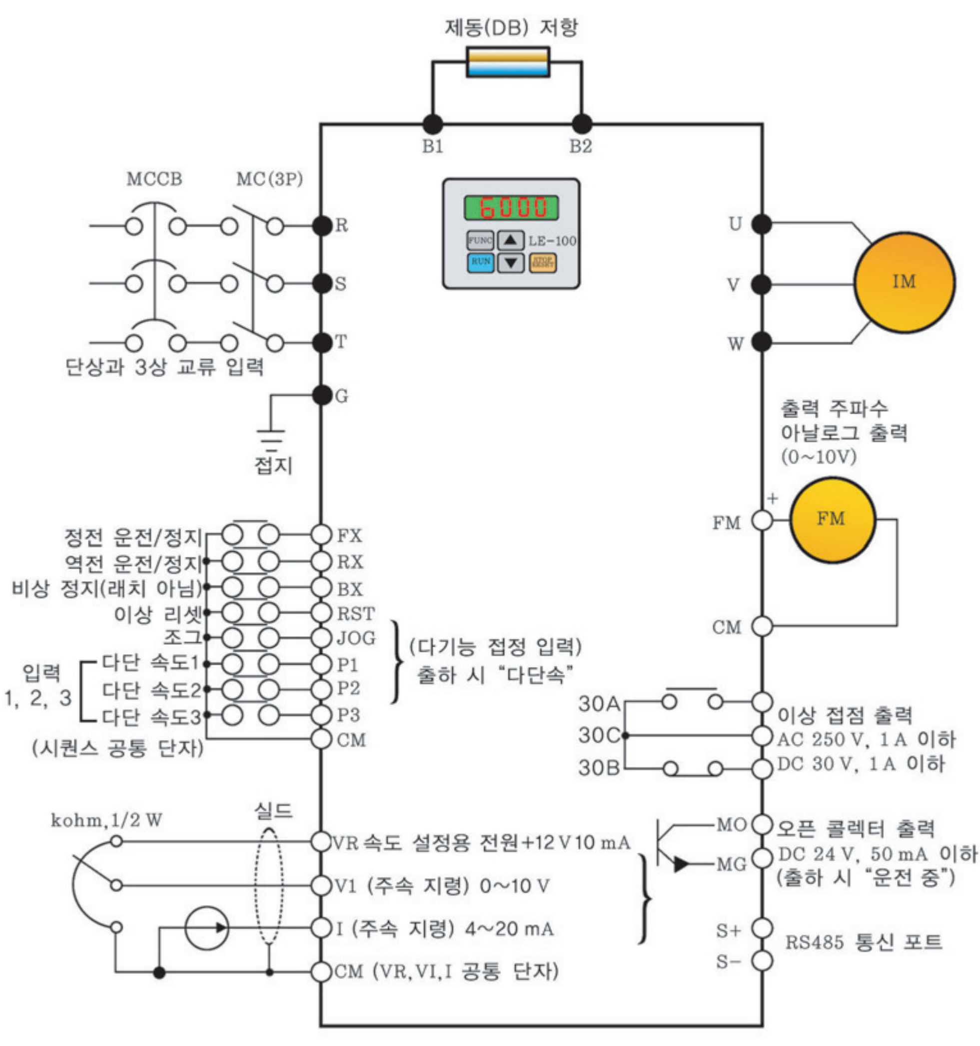


그림 V-76 인버터 결선 도면

사용 재료와 기기

전자 접촉기(220[V], 30[A], 3p) 2개, 단자대(220[V], 8p) 2개, 계전기(220[V], 30[A], 3p) 3개, 타이머(220[V], 30분, 2접점) 1개, 전선(3.5[mm^2] 전선) 20[m], 인버터(3상, 220[V], 0.75[KW]) 1조, 전원(3상 220[V]), 교류 전압계(0~250[V] 이상) 1대, 훅 미터(AC/DC

1000A 전류, R 측정) 1대, 전동기(3상, 220[V], 0.75[KW]) 1대, 공구 세트(배선에 필요한 공구) 1조, 타코미터(0～3500[rpm]) 1대

안전과 유의 사항

1. 회로 결선이 정확히 결선되었는지를 최종 확인한다.
2. 전자 접촉기(electromagnetic contactor)의 결선 잘못으로 선간 전압이 단락되지 않게 주의한다.
3. 220 V의 교류 전압에서 시험하므로 감전에 주의한다.
4. 전동기 용량이 큰 경우에는 운전 시에 옷이나 기타 신체 일부가 회전축에 말려 들어가지 않게 주의한다.
5. 인버터의 판넬 내 온도는 0～50 ℃의 범위를 넘지 않게 주의한다.

실습 순서

1. 도면과 같이 결선 후에 오결선이 없는지 반드시 재확인한다.
2. 전자 접촉기(MC)를 투입하기 위하여 배선용 차단기(MCCB)를 투입한다.
3. 기동 스위치(START)를 누른다.
4. 기동 스위치(START)를 눌러 주전자 접촉기(MC)가 작동하는지를 확인한다.
5. 주전자 접촉기(MC)가 작동하면, MC(1p) 접점이 닫히면 타이머 T가 작동한다.
6. MC(3p) 접점이 닫히면 3상 전압은 L_1, L_2, L_3을 통하여 인버터로 인가된다.
7. 타이머 T가 설정된 시간이 지나면 타이머 접점에 의하여 운전 지령, 동작 지령 접점이 동작하는지를 확인한다.
8. 설정된 속도 표준, 전류 제한 기준에 상당하는 속도와 토크로 전동기가 작동하는지를 확인한다.
9. 이렇게 하여 정상 운전이 되어 운전하다가 비상 사태가 발생하여, 정지하여야 할 경우에는 비상 정지(Emergency Stop) 스위치를 눌러 전자 접촉기(MC)를 차단하여 인버터를 정지시킨다.

결과 정리

인터페이스의 개념을 보면, 인버터 시스템으로서 어떠한 운전을 요구하고 있는지를 알 수 있다. 1축 위치 제어에 의한 신호의 흐름을 정리하면 다음과 같이 된다.

1. 신호등은 시퀀스 컨트롤러에서 조작반으로 신호가 보내진다.
2. 고장 표시는 인버터의 고장 출력 신호를 시퀀스 컨트롤러에 보내지고, 시퀀스 컨트롤러에서 다른 고장 신호로 처리시켜 조작반의 신호로 출력된다.

3. 고장 리셋 신호는 조작반에서 시퀀스 컨트롤러에 들어간다.
4. 비상 정지 신호는 조작반에서 시퀀스 컨트롤러에 입력시켜, 각 유닛을 단계적으로 출력시킨다.
5. 모터의 토크 리밋 컨트롤 신호는 시퀀스 컨트롤을 경유하여 인버터에 입력된다. 이상의 예처럼, 컨트롤 패널과 조작반 사이의 제어 신호는 시퀀스 컨트롤에서 입출력되고, 패널의 각 유닛에 분배되어지고 있다. 이 신호를 분배한 제어 케이블에 노이즈 대책을 세우는 것이 인버터 시스템의 신뢰성 향상에 필요하다. 인버터에서는 신호 코먼(common) 선의 접지를 콘덴서로 하고 있다. 그러므로 시퀀스 컨트롤러 측에서는 신호 코먼 선의 직접 접지를 반드시 실시하는 것이 중요하다.
6. 속도계를 사용하여 속도 표준 신호를 변경시켰을 때의 속도를 계측하여 다음 표 Ⅴ-17을 작성하여 본다.

표 Ⅴ-17 측정표

속도 표준 전압[V]	0.1	1	5	10
모터 속도[RPM]				

심화학습

AC 유도 전동기에 고효율 인버터를 사용하여 그림 Ⅴ-77과 같이 결선할 경우에 고려하여야 할 중요한 내용을 요약하여 본다.



그림 Ⅴ-77 고효율 인버터와 유도 전동기와의 결선



동기 전동기 제어

학습 목표 |

1. 동기 전동기의 응용 분야와 특성을 설명할 수 있다.
2. 영구 자석 동기 전동기(PMSM)의 구성과 동작 원리를 설명할 수 있다.
3. 영구 자석 동기 전동기(PMSM)의 속도 제어를 설명할 수 있다.
4. BLDC 모터의 구성과 동작 원리를 설명할 수 있다.
5. BLDC 모터의 속도 제어를 할 수 있다.

1 동기 전동기의 특성

동기 전동기는 회전자가 권선형과 영구 자석형으로 구별된다. 권선형은 대용량에서 사용되었으나 최근에는 슬립 링(Slip ring) 부착, 가격 상승, 유지 보수 등의 문제가 있어 거의 사용되지 않고 영구 자석형이 주류를 이루고 있다.



그림 V-78 동기 전동기의 외형

동기 전동기는 영구 자석형 동기 전동기(permanent magnet synchronous motor; PMSM)와 BLDC(brushless DC motor)로 나뉜다.

소형 모터 중에서 PMSM 모터는 정밀한 제어에 사용되고 있다. 그림 V-78은 동기 전동기의 외형을 나타낸 것이다. 동기 전동기는 다음과 같은 특징이 있다.

- 기계적 메커니즘(mechanism)이 없어서 가격이 싸다.
- 마찰 부분이 없어 마모가 없고 수명이 길어 신뢰성이 향상된다.
- 부품 수가 크게 줄어 소형화가 가능하다.
- 제어 회로의 IC화로 소형화, 고성능화, 저가격화가 가능하다.
- 고토크, 정속도, 고응답성, 고효율이 가능하다.

그림 V-79는 BLDC 모터와 PMSM 모터와의 누설 자속, 역기전력 파형의 차이점을 비교한 것이다. 즉, BLDC 모터의 역기전력은 구형파에 가까우나, PMSM 모터의 역기전력은 정현파에 가까워 그 특성이 다르다.

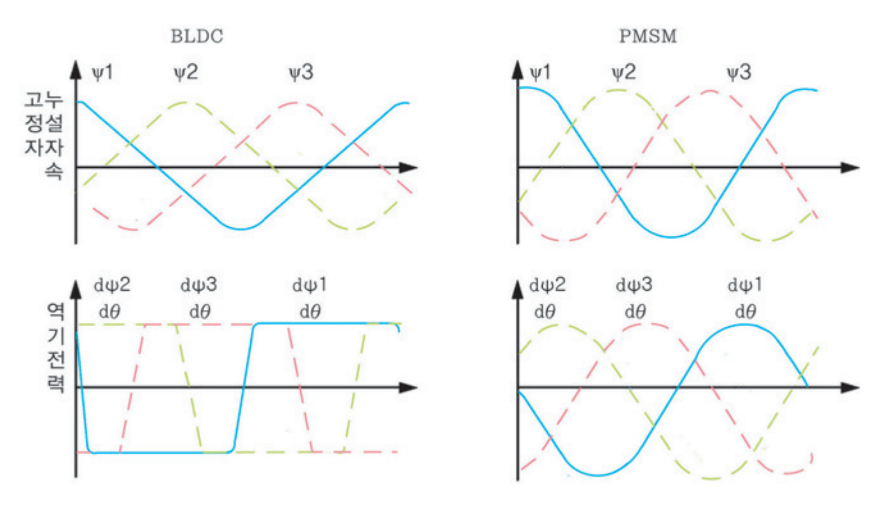


그림 Ⅴ-79 BLDC, PMSM 누설 자속, 역기전력 파형 비교

2 영구 자석 동기 전동기 제어

1. 영구 자석 동기 전동기 개요

그림 Ⅴ-80은 영구 자석 동기 전동기 PMSM(permanent magnet synchronous motor) 구조를 그림 Ⅴ-81은 제어기 외형을 보여준 것이다.

일반적으로는 고정자 권선은 단상, 2상, 3상, 4상 권선 등이 사용되고 있고, 효율 면에서 3상 권선 방식이 주류를 이루고 있다. 회전자에는 영구 자석을 사용하며, 자석의 재질은 페라이트(Ferrite), 희토류 자석이 주류를 이루고 있고, 수지 자석 등도 사용되기도 한다. 여기서 PMSM 모터를 직류 모터와 비교 설명하면, 직류 모터는 고정자가 영구 자석인 경우로서, 회전자 권선에 전류를 공급하기 위하여 고정자 측에는 브러시를, 회전자 측에는 정류자를 설치하여 회전자 측에 전류를 공급하고 있다.



그림 Ⅴ-80 PMSM 구조

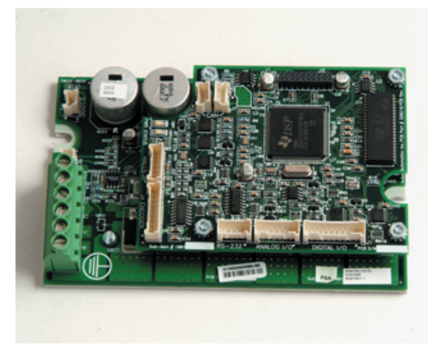


그림 Ⅴ-81 PMSM 드라이버

PMSM은 직류 모터와는 반대로 회전자가 영구 자석이고 고정자에 권선을 설치하여 브러시를 없애는 것이다.

2. PMSM의 구동 원리

PMSM에는 정현파에 가까운 기전력이 발생되며, 회전자 자극과 세 개의 홀 소자를 120° 위상차가 되게 부착하고, 고정자 권선 W_1, W_2, W_3에 흐르는 전류를 정현파에 가깝게 만들어 준다. PMSM의 구동 원리는 역기전력 파형이 정현파인 것을 제외하고는 BLDC 모터 구동과 유사하다.

3 브러시리스 직류 전동기의 속도 제어

1. 브러시리스 직류 전동기의 개요

그림 Ⅴ-82는 브러시리스 DC 모터(BrushLess DC Motor)의 외형을 보여 준 것이다. 동기 전동기는 회전자가 권선형과 영구 자석형으로 분류된다.

권선형은 대용량에서 가끔 사용되나 최근에는 브러시 부착, 가격 상승, 유지 보수 등의 문제가 있어 거의 사용되지 않고 영구 자석형이 주류를 이루고 있다.

BLDC(brushless DC motor)는 동기 전동기의 일종으로 소형 모터 중에서 대단히 중요한 위치를 차지하고 있다. 특히, 오디오 레코더, VTR, 보일러 브로워, 진공 청소기 등의 가전 제품과, 플로피 디스크, 하드 디스크, 천공기, 스캐너, DVD 등의 전산기 주변 장치 분야에서 그 용도가 증가되고 있다.

레코드플레이어 분야에 있어서는 대부분이 DDM(direct drive motor)을 사용하고, 청소기, 보일러용 등 가전용에는 원통형을 사용하고 있으며, 과거에는 모터의 풀



그림 Ⅴ-82 BLDC 전동기의 외형

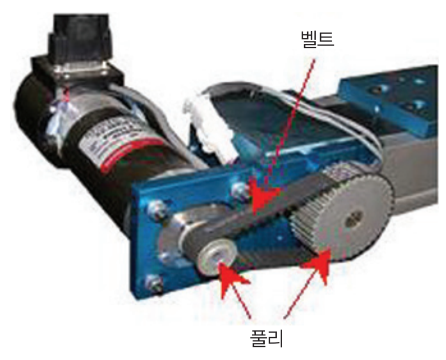


그림 Ⅴ-83 풀리와 벨트 구조



그림 V-84 BLDC Motor의 용도별 적용 사례

리(pulley)와 벨트(belt)를 넣어서 사용(그림 V-83)했으나, 근래에는 직접 구동 방식이 그 주류를 이루고 있다.

그림 V-84는 BLDC의 용도별 적용 사례를 보여 주고 있다. 이 사례에서와 같이 가전 제품의 대부분과 로봇, 자동차 등의 중용량 이하에서는 산업 전반에 널리 적용될 전망이다.

2. BLDC의 구조

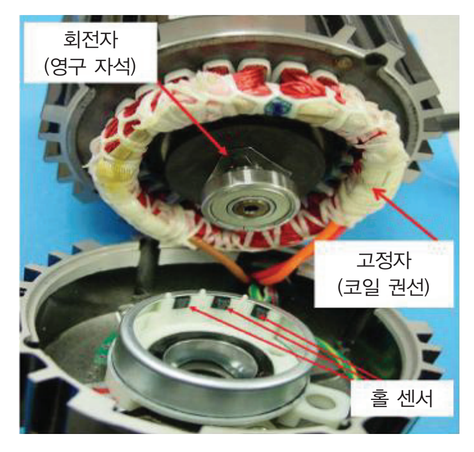


그림 V-85 BLDC 내부 홀 센서 부착

그림 V-85는 브러시리스 DC 모터(BrushLess DC Motor)의 홀 센서 부착과 권선 상태를 보여 준 예이다.

일반적으로는 고정자 권선은 단상, 2상, 3상, 4상 권선 등이 사용되고 있고, 효율 면에서 3상 권선 방식이 주류를 이루고 있으며, 회전자에는 영구 자석을 사용하고 있으며, 자석의 재질은 페라이트(Ferrite), 희토류 자석이 주류를 이루고 있고, 수지 자석 등도 사용되기도 한다.

3. BLDC의 동작 원리

그림 Ⅴ-86은 회전자 자극과 세 개의 홀 소자를 120° 위상차가 되게 부착하고 고정자 권선 W_1, W_2, W_3과의 위치 관계를 나타낸 그림이다.

권선 W_1과 권선 W_2는 전기적으로 120° 위상이 지연되고 W_2와 W_3, W_3과 W_1은 각각 120° 위상차를 이루며, 3상 권선을 구성하고 있다.

홀(hall) 소자 H_1, H_2, H_3은 각각 W_1, W_2, W_3과 대응 위치에 배치시켜 두고, 서로 120° 위상차가 되게 설치한다.

- 홀 소자 H_1은 회전자의 N극의 최대 자속을 받아서, 디코더 회로(decoder circuit) 스위칭 트랜지스터 Q_1~Q_6을 ON/OFF시켜서 각 권선 W_1~W_2에 전류가 흐른다.
- 이와 같이 홀 소자는 회전자의 자극의 취치를 검출하여 트랜지스터를 ON, OFF 시켜서 권선에 전류를 흐르게 하는 역할을 담당한다.

그림 Ⅴ-86에 3상 BLDC 모터 권선과 홀 센서의 배치를 보인 것이다. 동작 순서는 다음과 같다.

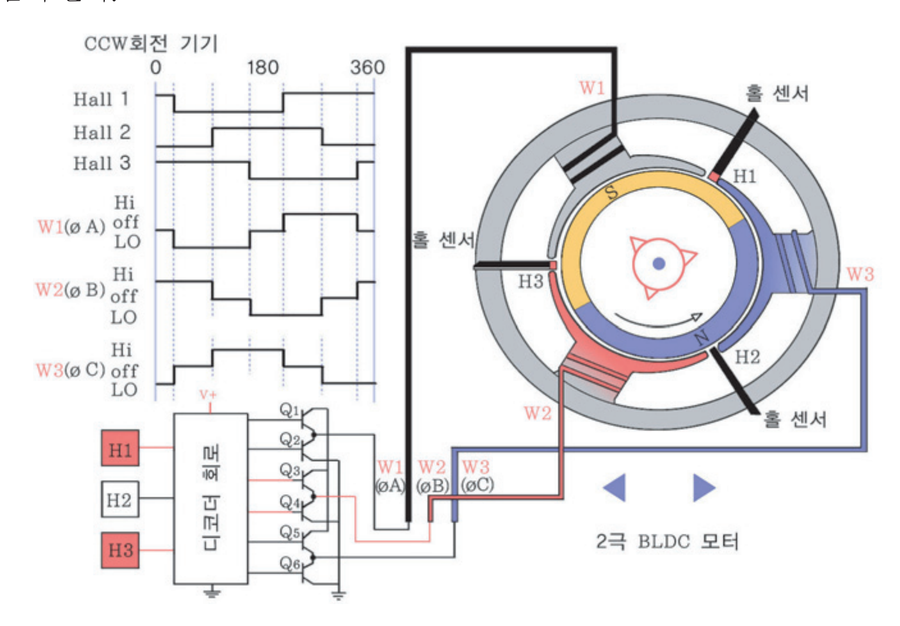


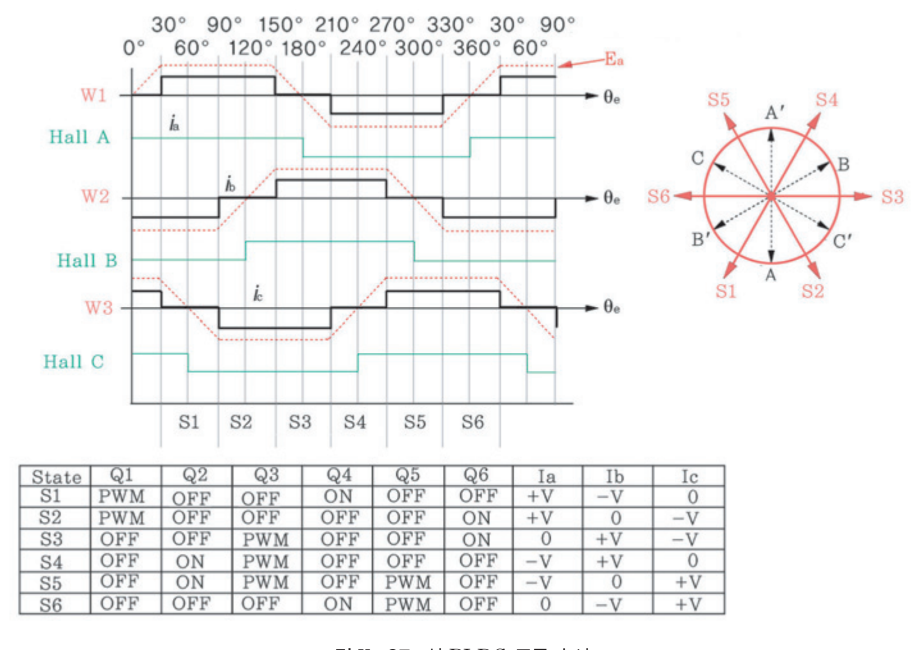
그림 Ⅴ-86 홀 센서를 사용한 2극 BLDC 여자 시퀀스

- 왼쪽 위에 동작 시퀀스와 같이 회전자 영구 자석이 H_1과 H_3을 ON시키는 위치에 있을 때에는 권선 W_2에서 권선 W_3로 전류가 흘러 회전자를 화살표 방향으로 0°에서 60° 회전시킨다.
- 회전 결과 홀 소자 H_3이 ON 되게 되고, 권선 W_2에서 W_1로 전류가 흐르게 되고,

이로 인하여 회전자를 화살표 방향으로 60°에서 120°까지 회전하게 된다.

- 회전 결과 홀 소자 H_2와 H_3이 ON 되게 되고, 이로 인하여 권선 W_3에서 W_1로 전류가 흐르게 되고, 이로 인하여 회전자를 화살표 방향으로 다시 120°에서 180° 위치로 회전하게 된다.
- 회전 결과 홀 소자 H_2가 ON 되게 되고, 권선 W_3에서 W_2로 전류가 흐르게 되고, 이로 인하여 회전자를 화살표 방향으로 다시 180°에서 240° 위치로 회전하게 된다.
- 회전 결과 홀 소자 H_1, H_2가 ON 되게 되고, 권선 W_1에서 W_2로 전류가 흐르게 되고, 이로 인하여 회전자를 화살표 방향으로 다시 240°에서 300° 위치로 회전하게 된다.
- 회전 결과 홀 소자 H_1이 ON 되게 되고, 권선 W_1에서 W_3으로 전류가 흐르게 되고, 이로 인하여 회전자를 화살표 방향으로 다시 300°에서 360° 위치까지 회전하게 된다.
- 그 결과, 맨 처음으로 다시 돌아가 H_1과 H_3을 ON시키는 위치에 있을 때에는 권선 W_2에서 권선 W로 전류가 흘러 회전자를 화살표 방향으로 0°에서 60° 회전시킨다. 이와 같은 순서로 계속 회전하게 된다.

이상의 동작에서 홀 소자는 회전자의 자극의 위치와 자극을 검출하여 순차적으로 권선에 전류가 흐르게 하고, 회전자를 회전시켜 주는 것을 알 수 있다. 이 결과, 자계가 회전하는 것이 되고, 이 과정을 반복하여 계속 회전하게 된다. 이상의 동작을 요약하여 그리면 그림 Ⅴ-87과 같다.



State	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Ia	Ib	Ic
S1	PWM	OFF	OFF	ON	OFF	OFF	+V	−V	0
S2	PWM	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	+V	0	−V
S3	OFF	OFF	PWM	OFF	OFF	ON	0	+V	−V
S4	OFF	ON	PWM	OFF	OFF	OFF	−V	+V	0
S5	OFF	ON	PWM	OFF	PWM	OFF	−V	0	+V
S6	OFF	OFF	OFF	ON	PWM	OFF	0	−V	+V

그림 Ⅴ-87 3상 BLDC 구동 순서

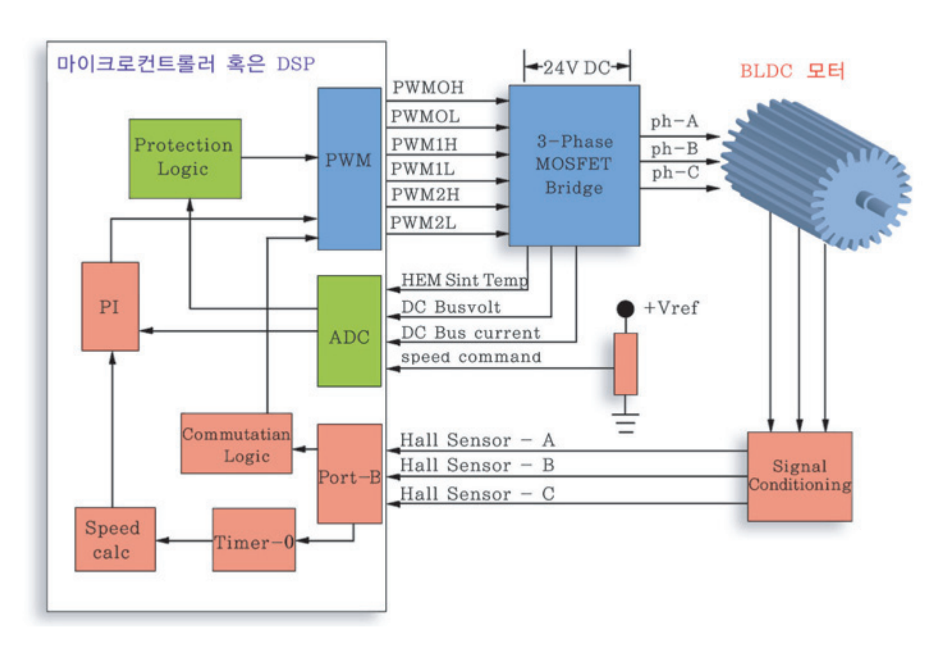


그림 V-88 BLDC의 구동 회로 구성

그림 V-88은 마이크로컨트롤러와 홀 센서를 이용하여 회전자 자극의 위치 검출용으로 사용하여 속도 제어를 할 수 있게 고안된 회로이다.

그림 V-89는 홀 센서를 자극의 위치 검출과 회전 속도 검출 기능을 동시에 할 수 있게 하여 속도와 위치 제어를 동시에 할 수 있게 고안된 회로의 사례를 보여 주고 있다. 지하철 스크린 도어와 같은 저가용 위치 제어용으로 많이 사용되고 있다.

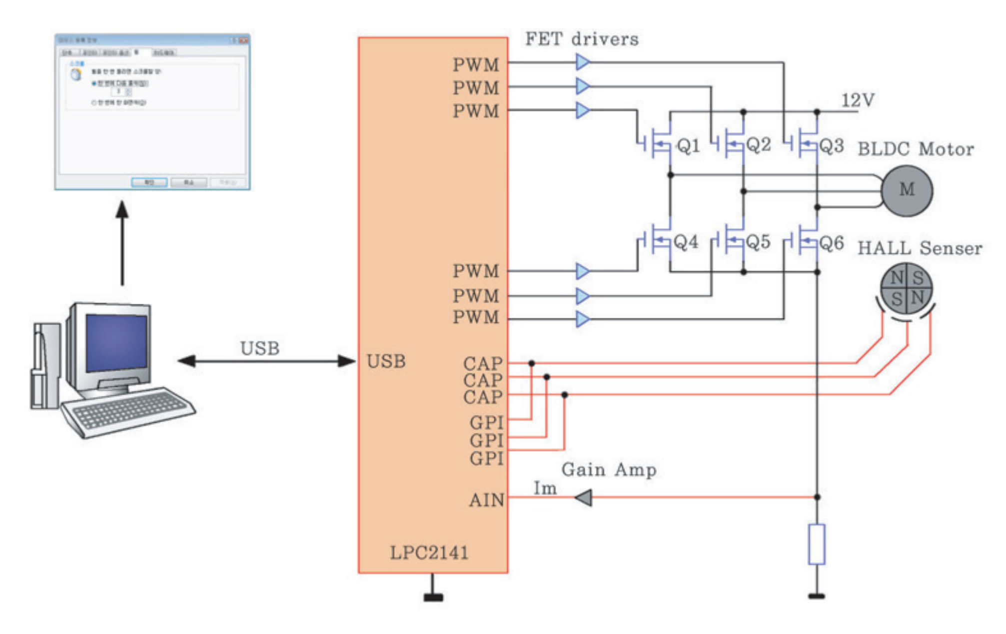


그림 V-89 BLDC 구동 회로의 구성

실습 과제 7

BLDC의 속도 제어

<도면>

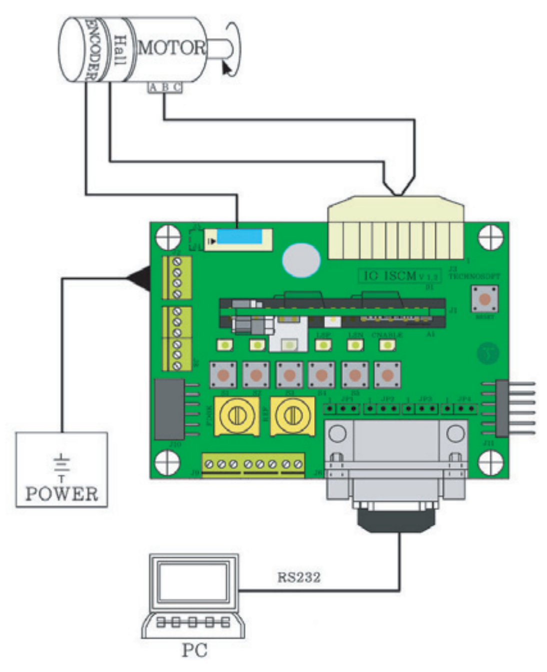


그림 Ⅴ-90 BLDC 구동 회로

사용 재료와 기기

BLDC Motor(300 W, 24 V 엔코더와 홀 센서 부착형) 1대, BLDC 드라이버(300 W, 24 V 엔코더, 홀 센서, RS232 통신) 1대, 전원(24 V, 20 A) 1대, 범용 PC 1대

안전과 유의 사항

1. 회로 결선이 정확히 결선되었는지를 최종 확인한다.
2. 전자 접촉기(electromagnetic contactor)의 결선 잘못으로 선간 전압이 단락되지 않게 주의한다.
3. 220 V의 교류 전압에서 시험하므로 감전에 주의한다.
4. 전동기 용량이 큰 경우에는 운전 시에 옷이나 기타 신체 일부가 회전축에 말려 들어가지 않게 주의한다.

실습 순서

1. 도면과 같이 결선한 후에 오결선이 없는지 반드시 재확인한다.
2. 홀 센서 연결을 회전 방향을 고려하여 결선 방향을 정한다.
3. 일정 속도로 회전되는지를 속도 측정을 통하여 확인한다.

결과 정리

1. 프로그램의 설명은 개념만 설명한다.
2. 투입 시점부터 진행 시간에 따라 기동 속도를 측정하여 다음 표를 작성한다.

측정 시간〔초〕	0.5	1.0	2.0	5.0	10.0
회전 속도〔rpm〕					

3. 짧은 시간 간격으로 연속 측정하여야 하므로 속도 센서를 회전축에 붙여 기록계로 측정하고 기록 결과를 읽어 다음 표를 작성한다.

측정 시간〔초〕	0.01	0.02	0.1	0.2	0.5
회전 속도〔rpm〕					

안전과 유의 사항

1. 모터와 드라이버가 정확히 연결하였는지를 최종 확인한다.
2. 컨트롤러에 전원을 연결하였는지를 확인한다(배터리 포함).
3. 모터가 회전할 경우, 회전축에 이물질과 기타 물건들이 부딪치지 않게 실습 환경을 정리한다.

실습 순서

1. 속도 제어 프로그램을 실행하여, 해당 프로그램이 맞는지 확인한다.
2. 드라이버와 개인용 컴퓨터 간의 연결을 확인한다(USB 연결).
3. 회전 축의 속도를 눈으로 확인할 수 있게 모터 축에 연결한다.
4. 보충 과제에 따른 실습을 프로그램을 구동하여 속도 제어와 회전량을 측정한다(전원 투입 시점부터 진행 시간에 따라 회전량 그래프가 어떻게 변화되는지 확인함).

결과 정리

1. 모터 엔코더에 따른 회전량 측정 개념을 설명한다.

2. 모터 속도와 대기 시간에 따라서 회전량이 어떻게 변화되는지를 설명한다.

3. 지정된 시간동안 회전량의 변화를 측정하여 기록 결과를 읽어 다음 표를 작성한다.

대기 시간: 0.1초

모터 입력 파워(W) (input power)	−100	−75	−50	−25	0	25	50	75	100
회전 속도(rpm)									



1. 모터 입력 파워(input power)가 변화할 경우의 회전수 측정 결과(대기 시간 일정)

2. 대기 시간이 변할 경우의 회전량 측정 결과(모터 파워 일정)

모터 파워: 50

측정 시간(sec)	0.2	0.5	0.8	1	1.2	1.5	1.8	2
회전수(**펄프수**)								



전동기의 선정



학습 목표 |

1. 부하의 종류에 따라 각각의 부하 특성을 설명할 수 있다.
2. 부하에 적합한 전동기를 선정할 수 있다.

부하의 종류에 따라 가장 적합한 전동기의 용량 산출은 전동기를 선정하는 기술자에게는 매우 중요한 일이다. 전동기 선정 시에 전동기가 구동할 기계적 용량, 성능, 부하의 상태 등이 전동기 용량 선정에 어떤 영향을 주는지를 분석하고, 이러한 여러 조건에 맞는 가장 적절한 전동기 선정 방법에 대하여 알아본다.

1 전동기의 특징

전동기는 표 V－18과 같은 장단점을 가진다.

표 V－18 전동기의 장단점

구분	내용
장점	• 제어가 간단하며 원격 제어와 제어 네트워크(control area network; CAN) 제어도 가능하다. • 전동기 종류가 다양하여 부하의 종류, 주변 환경에 적합한 전동기를 자유롭게 선택할 수 있어 효율적인 운전이 가능하다. • 내연 기관에 비하여 소형이고 가스 배출이 없으며 소음, 진동, 먼지, 고열 등의 발생이 적다. • 운전, 조작, 유지 보수가 쉽고 각종 전력량의 계측, 기록, 제어, 전송이 쉽다. • 전선이나 반송파 등에 의하여 전력이 전달되므로 기계적으로 복잡한 동력 전달 장치가 필요없다.
단점	• 정전 시에 예비 전원이 없으면 운전할 수 없다. • 내연 기관에 비하여 과부하에 견디는 힘이 약하다. • 전력을 공급하기 위하여는 전선이 필요하므로 먼 거리 이송 시에 전송비가 비싸고 불편하다.

이상과 같이 기계 동력원으로써 전동력을 응용할 경우에는 단점보다 많은 장점이 있어 산업 전반에 걸쳐 자동 제어 구동원으로 널리 이용되고 있다.

2 전동기의 응용 분야

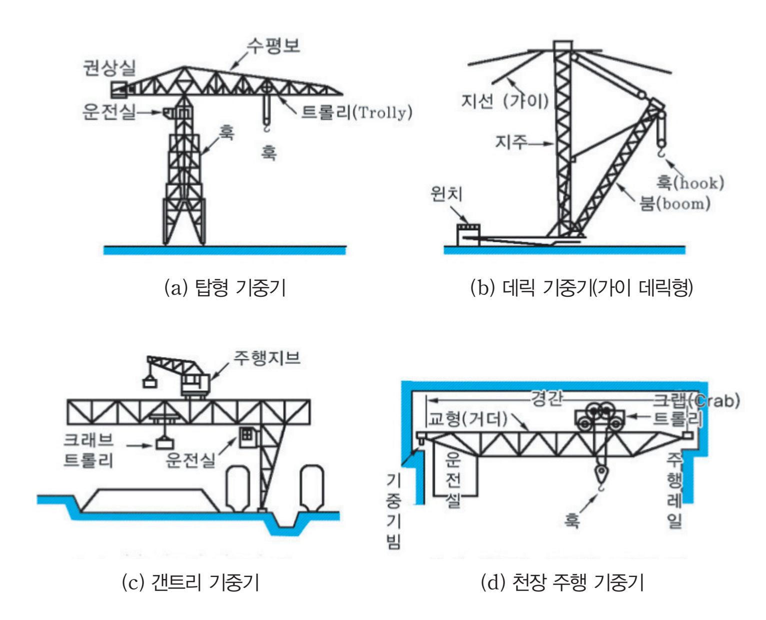
전동력은 가장 많이 이용되는 장치로서 산업 분야, 가전 분야, 건축, 주차 설비, 운송 장치 등에 널리 응용된다. 응용 분야 중에서 가장 많이 사용되는 기중기, 엘리베이터, 컨베이어와 같은 운송 기계와 펌프, 송풍기, 압축기, 압연기, 전동차 등의 구조와 동작 원리, 소요 전동기 용량 산출에 대하여 알아보기로 한다.

1. 기중기

(1) 기중기의 종류와 구조

기중기(crane)는 하물을 운반하는 데에 사용하는 장치로, 그림 Ⅴ-91과 같이 여러 가지 종류가 있다. 기중기 중에는 그림 Ⅴ-91의 (a)와 같이 고층 건물을 건축할 때에 사용되는 탑형 기중기(tower type crane)와 그림 (b)와 같이 선박에서 물건을 하역시키는 데릭 기중기(derick crane), 그림 (c)와 같이 저탄장에서 사용하는 갠트리 기중기(gantry crane), 그림 (d)와 같이 공장에서 여러 가지 무거운 물건을 이송시켜 주는 천장 주행 기중기(over head crane) 등이 있다.

여기서는 천장 주행 기중기의 훅(hook)이 하물을 상하로 움직이고, 크랩(crab)이 거더(girder) 위의 궤도를 좌우로 움직이며 거더는 건물의 천장 양쪽에 설치한 주행



(c) 갠트리 기중기

(d) 천장 주행 기중기

그림 Ⅴ-91 기중기의 종류

궤도(rail) 상을 따라 앞뒤로 이동하게 된다. 클립 내에는 상하, 좌우, 전후로 구동시키는 세 대의 전동기가 부착되어 있다.

일반적으로 기중기용 전동기는 기동, 정지를 자주하기 때문에 관성 모멘트가 작고 기동 토크가 큰 직류 전동기를 사용하기도 하고, 아주 무거운 물건을 운반하는 대형 크레인에서는 권선형 유도 전동기를 2차 기동 저항기 방식으로 종종 사용되어 왔다. 그러나 근래에는 벡터 제어 인버터를 교류 농형 유도 전동기에 적용한 교류 전동기 시스템으로 설치 운행되고 있는 곳도 많다.

(2) 기중기용 전동기의 용량 산정법

종래에는 직류 전동기를 사용하기도 하였으나, 근래에는 권선형 유도 전동기를 많이 사용한다. 여기서는 크레인용 저압 3상 권선형 유도 전동기를 사용할 때에 부하율은 25～40 %이며, 크레인 효율은 0.6～0.8 %가 보통이다.

기중기에 사용되는 권상용, 주행용, 횡행용 전동기 용량은 다음과 같이 설계한다.

권상용 동력 P_1은

$$P_1 = 9.8W_1 \cdot 1000 \cdot 1\frac{v_1}{60} \cdot \frac{1}{\eta_1} \cdot 10^{-3} = \frac{W_1 v_1}{6.12\eta_1} \text{[kW]} \qquad (\text{V}-13)$$

여기서, W_1: 권상 하중[t]

v_1: 권상 속도[m/min]

η_1: 권상 장치의 기계 효율(0.6～0.8)

횡행용 동력 P_2는

$$P_2 = \frac{W_2 \cdot v_2 \cdot c_2}{6120 \cdot \eta_2} \text{[kW]} \qquad (\text{V}-14)$$

단, W_2: (트로리 중량$+W_1$)[t]

v_2: 횡행 속도[m/min]

c_2: 횡행 저장[kg/t], (25～35)[kg/t]

η_2: 횡행 장치의 기계적 효율(1단: 0.92, 2단: 0.8)

주행용 동력 P_3는

$$P_3 = \frac{W_3 \cdot v_3 \cdot c_3}{6120\eta_3} \text{[kW]} \qquad (\text{V}-15)$$

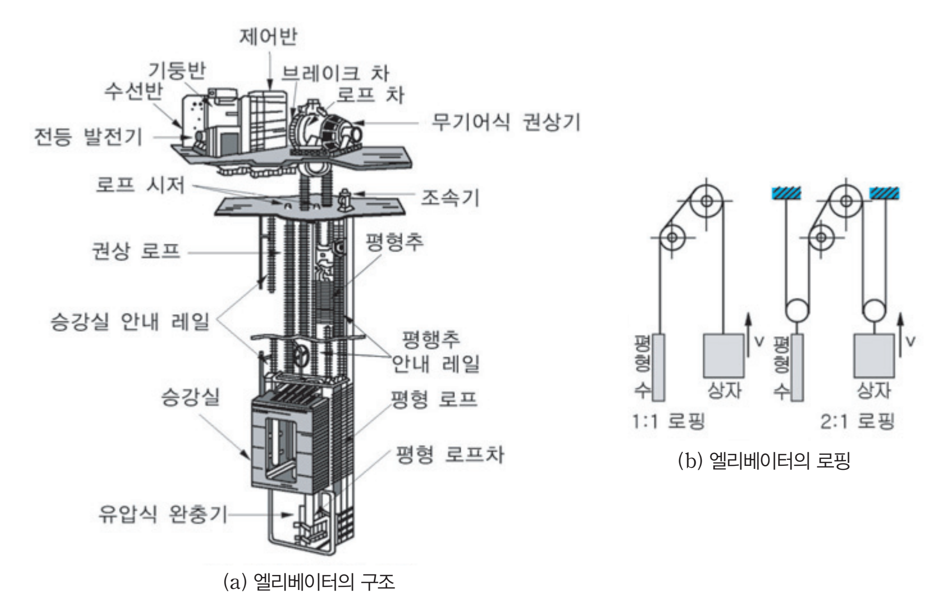
단, W_3: (거더 중량$+W_2$)[t], v_3: 주행 속도[m/min]

c_3: 주행 장치[kg/t], η_3: 주행 장치의 기계적 효율, η_3와 η_2, c_3와 c_2가 거의 같다.

2. 엘리베이터 구동용 전동기의 용량 산정법

엘리베이터는 용도에 따라 승용, 하물용, 자동차용 등으로 구분되고, 승강 속도에 따라 15～45[m/min]의 저속, 60～105[m/min]의 중속, 120～300[m/min]의 고속 엘리베이터로 구분되고, 구동 방식에 따라 로프식(rope system)과 유압식(oil hydraulic system)이 있다.

근래에는 유압식은 거의 사용되지 않으며, 로프식은 로프와 로프차의 마찰력을 이용한 트랙션형(traction type)과 로프와 드럼을 사용한 드럼형(drum system)이 있는데 후자는 거의 사용되지 않는다. 사용 전원에 따라 교류식과 직류식이 있다.



(a) 엘리베이터의 구조

(b) 엘리베이터의 로핑

그림 Ⅴ-92 엘리베이터의 구조

그림 Ⅴ-92는 로프식 승강기의 구조를 보인 것이다. 승강실과 주 제어 기기 사이에는 제어 케이블이 전기적으로 접속되어 있다. 로프의 설치 방법은 1 : 1과 2 : 1이 있다. 1 : 1 방식은 승강실과 로프 속도(전동기 속도)가 같으며, 2 : 1 방식에서는 로프 속도가 승강기 속도의 두 배로 빨라지며 전동기 용량은 1/2로 감소하게 되어 경제적이다.

직류 전동기는 전동 발전기에 의한 기어 리스형의 가변 전압 제어를 하고 고속 엘리베이터에 이용된다. 교류 전동기는 속도비가 3 : 1 또는 2 : 1 정도의 두 개 권선을 가진 3상 2중 농형이나 심구형(deep slot) 농형 전동기가 사용된다. 중속 또는 저속 엘리베이터에는 감속비가 1 : 20～1 : 60 정도인 웜 기어를 가지는 기어식(geared type)을 겸용하여 사용한다.

사용 전동기가 정격 속도로 운전할 때의 권상 전동기의 소요 동력은 다음과 같다.

$$P = \frac{f \cdot W \cdot v}{6120\eta} \text{[kW]} \qquad (\text{V}-16)$$

단, W: 적재 하중[kg], v: 승강 속도[m/min], f: 평형추의 평형률(0.4～0.6), η: 엘리베이터의 전효율(기어식의 경우에는 1 : 1 로핑은 0.5～0.6 정도이고, 2 : 1 로핑은 0.45～0.55 정도이다. 기어 리스식일 경우에는 1 : 1 로핑은 0.8 정도이고, 2 : 1 로핑은 0.6 정도이다.)

예제 1 적재 중량이 $W=120$[kg], 승강 속도 $v=45$[m/min], 평형추의 평형률$=0.5$, 엘리베이터는 기어식이고, 로핑률이 0.55일 때에 권상 전동기의 소요 동력[kW]을 산출하라.

풀이 |

여기서 위 식으로부터 $\eta=0.55$이므로 소요 동력 P는

$$P = \frac{f \cdot W \cdot v}{6120\eta} \text{[kW]} = \frac{0.5 \times 120 \times 45}{6120 \times 0.55} = 0.8 \text{[kW]} \qquad (\text{V}-17)$$

---

3. 에스컬레이터 구동용 전동기의 용량 산정법

에스컬레이터는 전동력에 의하여 구동되는 자동 경사 계단으로 한쪽 방향으로 연속된 사람의 이동을 위한 능률적인 수송 수단이다. 이것은 2열의 끝이 없는 디딤판 체인에 연결된 여러 단의 디딤판이 전동기에 직결된 웜 감속 구동 전동기로 구동된다. 그림 V－93은 에스컬레이터의 구조를 보여 주고 있다.

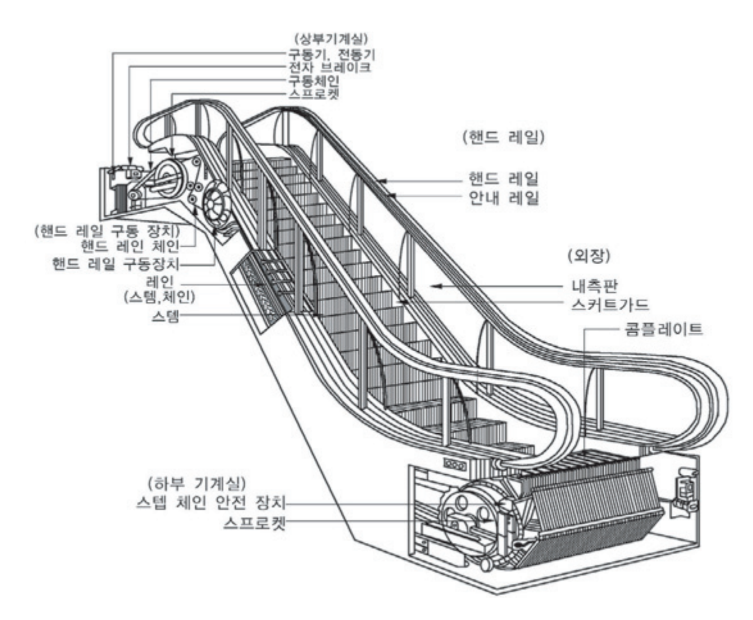


그림 V－93 에스컬레이터의 구조

(1) 전동기 용량의 설계

사용 전동기로서는 보통 권선형 유도 전동기나 토크가 큰 농형 유도 전동기가 사용된다. 전동기의 소요 동력은 다음 식과 같이 산출한다.

$$P=\frac{H}{\eta}\left(\frac{270\sqrt{3}}{6120\cdot 2}sv+p\right)[\mathrm{kW}] \quad (\text{V}-18)$$

여기서, H: 양정[m], η: 구동기의 효율(0.7～0.8), s: 디딤판의 폭(난간의 유효 폭 1200[mm]의 것은 1.0[m], 800[mm]의 것은 0.6[m], v: 디딤판 속도 (25～30[m/min]), p: 양정 1[m]당의 무부하 운전 동력(0.1～0.2[kW])

4. 컨베이어

(1) 구동용 전동기의 용량 산정을 위한 기초 지식

컨베이어(conveyer)는 일정 속도, 일정 방향으로 연속적으로 물건을 운반하는 장치로, 탄광에서는 석탄, 광산에서는 광석을 운반하는 데에 사용되며, 공장에서는 부품이나 원료를 운반하는 데에 사용된다.

컨베이어는 운반할 하물의 종류와 설치 조건 등에 따라 벨트 컨베이어(belt conveyer), 공기 컨베이어(air conveyer), 체인 컨베이어 (chain conveyer), 나사 컨베이어(screw conveyer) 등이다.

벨트 컨베이어는 그림 Ⅴ-94와 같이, 두 개의 벨트 차에 평 벨트가 루프 상태로 걸려 있다. 벨트에 동력을 주려면 벨트 차와 벨트 사이에 슬립(미끄러짐)이 생기지 말아야 한다. 따라서, 미끄러짐(slip)을 줄이기 위하여 접촉 각이 크게 스냅 풀리(snap pulley)가 있고 벨트의 장력(tension)을 높이기 위하여 인장 장치(take up)가 있다.

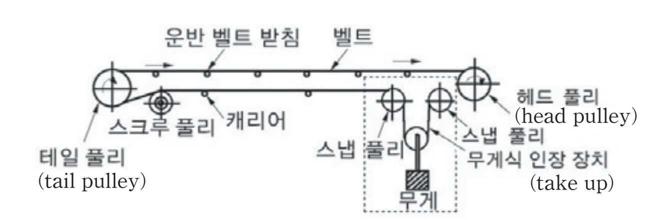


그림 Ⅴ-94 벨트 컨베이어의 구조

(2) 구동용 전동기의 용량 설계

벨트 컨베이어를 구동하는 데에는 벨트 차나 롤러 등의 무부하 회전 마찰손, 벨트가 진행 중의 변형에 의하여 생기는 동력 손과 벨트 청소 장치에서 소요되는 동력으로 인한 무부하 시의 소요 동력 P_1, 하물에 의한 마찰손의 증가분, 진행 중에 있어서 하물의

동요와 변형에 의한 동력 손과 하물을 가속하는 데에 소요되는 수평 부하 동력 P_2, 하물을 상하로 이동시키는데 소요되는 수직 부하 동력을 P_3라고 할 때에 전동기의 소요 동력 P는

$$P = P_1 + P_2 + P_3 \quad (\text{V}-19)$$

$$= 0.06fWv\frac{I+I_0}{367} + fQ_1\frac{I+I_0}{367} \pm \frac{hQ_t}{367}[\text{kW}]$$

여기서, f: 롤러의 회전 마찰 계수(0.03～0.012), W: 운반물 이외의 운동 부분의 중량(벨트의 중량[kg/m]), v: 벨트 속도[m/min], I: 컨베이어의 길이(헤드 풀리와 테일 풀리 사이의 수평 중심 거리[m]), I_0: 벨트의 변형에 따른 중심 거리 수정값[m] (49～156[m]), Q_t: 운반량[t/h], h: 양정[m]이다.

따라서, 사용 전동기 용량 P_m은

$$P_m = \frac{P}{\eta} \quad (\text{V}-20)$$

2～3단의 감속기를 거쳐 구동 벨트 차와 결합하므로 기계 효율 η는 0.7～0.8 정도이다.

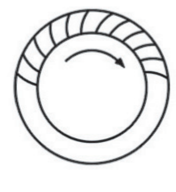
5. 송풍기

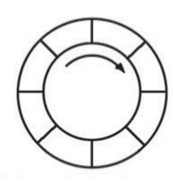
(1) 종류와 구조와 특징

기체를 유동시켜 통풍의 목적으로 사용하는 것을 통풍기라고 한다. 이 경우에는 약 500[mmAq] 이하의 풍압이며, 그 이상의 중위 풍압에 대하여 기체를 보내는 것을 송풍기라고 한다.

송풍기의 종류로는 기체에 원심력을 주어 압력이 생기게 하여 기체를 유동시키는 것으로 통풍시키는 방식을 원심력형 송풍기라고 하고, 프로펠러를 사용하여 압력이 생기게 하여 기체를 유동시키는 것을 프로펠러식 송풍기라고 한다.

또, 날개의 모양에 따라 그림 V－95의 (a)와 같이 회전 방향으로 경사진 날개를 가진 것을 다익 송풍기(multi-vane fan)라고 하여 일반 환풍용, 전동기 강제 통풍용에 쓰인다. 그림 V－95의 (b)와 같이 날개가 반경 방향으로 배열된 것을 직익 송풍기


(a) 다익 송풍기


(b) 직익 송풍기

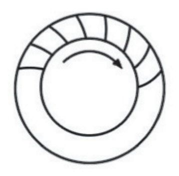

(c) 터보 송풍기

그림 V－95 송풍기의 구조와 종류

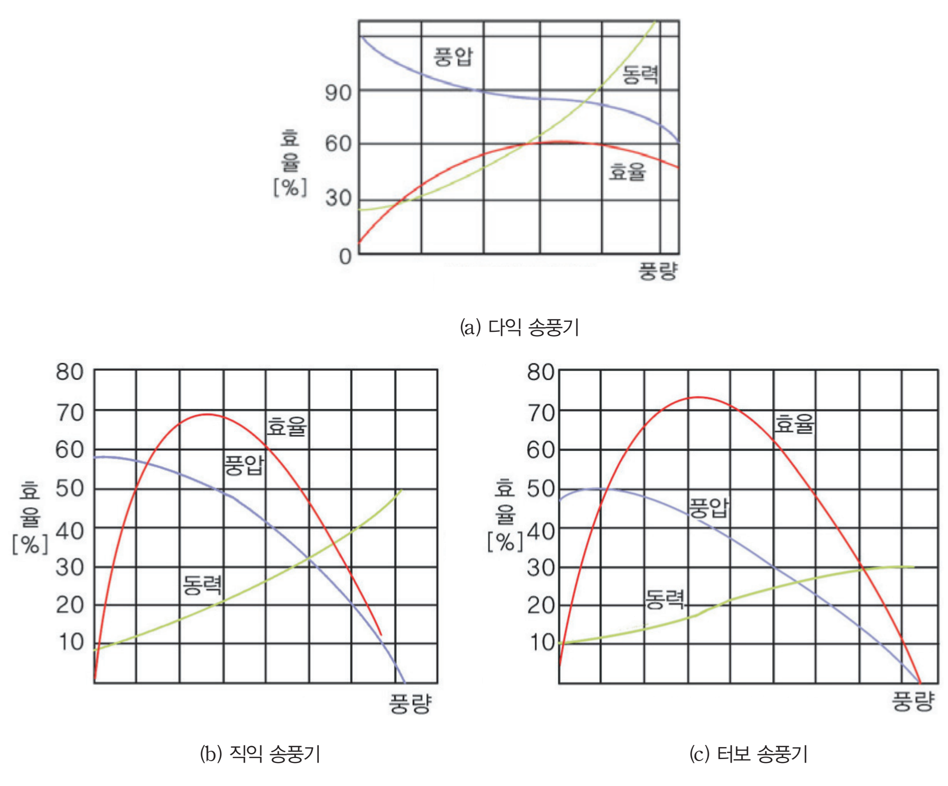


그림 Ⅴ-96 송풍기의 종류와 특성

(plate fan)라고 하며, 먼지 등이 많은 고온 가스용으로 사용된다. 그림 Ⅴ-95의 (c)와 같이 날개가 회전 방향에 대하여 뒤로 경사진 터보 송풍기(turbo fan)는 효율이 좋고 소음이 작으며 비교적 소형으로 고가이다. 이는 보일러와 광산 통풍용으로 사용하며 터보팬과 원리는 같고, 3000~3600[rpm] 정도의 고속으로 동작하는 터보 송풍기(turbo blower)도 있다.

풍량 풍압을 가감하려면 각종 송풍기의 성능 특성 곡선을 알아서 그에 따라 속도를 제어하여야 한다. 그림 Ⅴ-96은 송풍기의 특성 곡선이다.

(2) 사용 전동기의 용량

풍량이나 풍속을 조절할 필요가 없는 경우에는 농형 유도 전동기가, 풍량을 가감하여 흡입 밸브를 조절할 때에는 정속도의 유도 전동기 또는 동기 전동기를 사용한다.

또, 적은 범위의 속도 제어에는 권선형 유도 전동기의 2차 저항 제어법을 사용하고, 풍동 시험용에 사용할 때에는 속도 제어 범위가 10 : 1 정도이므로 직류 전동기를 사용하거나 인버터를 사용한 농형 유도 전동기도 사용된다. 그러나 이 방식은 가격이 상승하는 결점이 있다.

송풍기의 풍량 Q〔m^3/min〕, 풍압 H〔mmAq〕로 유동시키기 위한 소요 전동기의 동력 P는 다음과 같이 산출한다.

$$Q = \frac{kQH}{6120\eta} \text{〔kW〕} \qquad (\text{Ⅴ}-21)$$

여기서, k는 여유 개수로 송풍기의 종류에 따라 1.1～1.3이고, η는 송풍기 효율(다익 송풍기의 경우에 0.45～0.55, 직익 송풍기의 경우에 0.50～0.60, 터보 송풍기의 경우에 0.55～0.75, 선풍기의 경우에 0.3～0.5)이다.

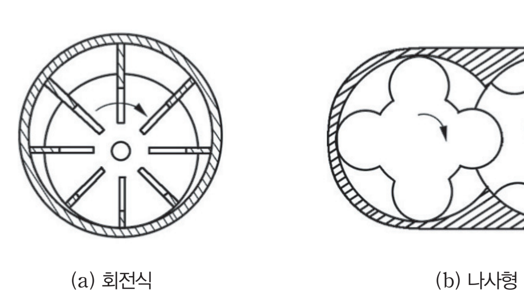
6. 공기 압축기

(1) 종류와 구조

공기 압축기(air compressor)는 송풍기 중에서 풍압이 약 3〔kg/cm^2〕 이상으로 높은 것을 압축기라고 하는데, 풍량이 많고 압력이 낮은 경우에는 터보형(turbo type)이 사용되고, 풍량이 적고 압력이 높은 경우에는 왕복동식(reciprocating type)이 사용된다. 또, 풍압과 풍량이 중간 정도에서는 회전식(rotary type)이 쓰인다.

터보형은 터보 송풍기와 원리는 같으나 1단의 경우에 풍압을 최고 150〔mmHg〕까지 만들 수 있으므로 단수를 증가시키면 고압으로 할 수 있다. 회전식은 그림 Ⅴ-97의 (a)와 같으며 가동 날개 압축기는 케이싱 안에 편심 회전자에 반경 방향으로 회전하는 날개가 있어서 공간을 여러 개의 작은 방으로 나누고, 이 방의 용적을 변화시켜 공기를 압축하는 것이다.

나사형은 그림 Ⅴ-97의 (b)와 같이 케이싱 속에서 두 개의 나사가 서로 맞물려 돌아가면서 케이싱 안의 가스를 압축하여 축 방향으로 이송시킨다. 왕복동식은 실린더 안에서 피스톤의 왕복 운동으로 가스를 압축하는 것인데 1000～2000〔kg/cm^2〕의 고압을 얻는 것도 있다.



(a) 회전식 (b) 나사형

그림 Ⅴ-97 공기 압축기

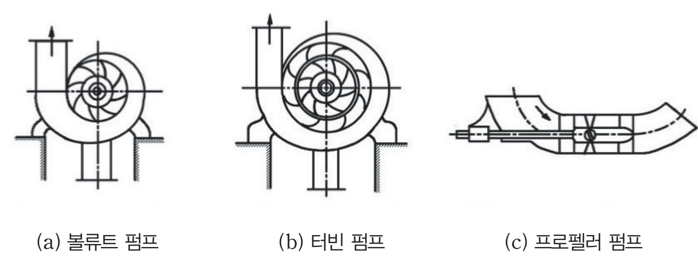
(2) 사용 전동기의 용량

사용 전동기로서는 속도 제어가 필요 없으므로 정속도 전동기가 사용된다. 전동기와 압축기의 연결은 100[kW]의 소형에서는 벨트 전동 장치를 사용하고 대형의 경우에는 직결 방식을 채택한다.

7. 펌프

(1) 종류와 구조

펌프(pump)는 그림 Ⅴ-98과 같이 액체에 에너지를 주어 압력이 생기게 하여 그를 수송하는 기계로 원심 펌프(centrifugal pump)와 용적형 펌프(displacement pump)로 구분한다.

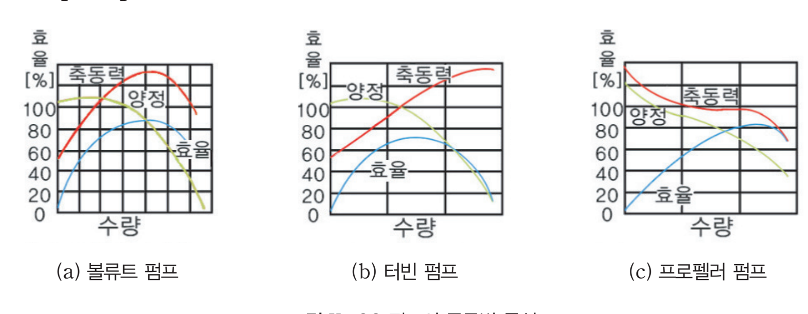


(a) 볼류트 펌프 (b) 터빈 펌프 (c) 프로펠러 펌프

그림 Ⅴ-98 원심 펌프의 종류

1) 원심 펌퍼

원심 펌프(보통 볼류트 펌프)는 액체로 충만된 용기 안에서 날개 차를 회전시켜 낮은 곳에 있는 액체를 높은 곳으로 품어 올리는 것으로, 그림 Ⅴ-98과 같이 날개 차의 외주에 직접 원심실이 있는 볼류트 펌프(volute pump)와 날개 차의 외주에 안내 날개를 설치하고 그 외측에 원심실이 있는 터빈 펌프(turbine pump), 그리고 프로펠러모양의 날개 차의 회전에 의하여 액체를 축 방향으로 내보내는 프로펠러 펌프(propeller pump)로 나눌 수 있다.



(a) 볼류트 펌프 (b) 터빈 펌프 (c) 프로펠러 펌프

그림 Ⅴ-99 펌프의 종류별 특성

전동기를 기동할 때에 유의할 것은 그림 Ⅴ-99에서 알 수 있는 바와 같이, 원심 펌프나 터빈 펌프는 밸브를 전폐하였을 때에 소요 동력이 작으므로 기동 또는 정지할 때에는 밸브를 전폐하고, 정상 상태의 회전에서 밸브를 서서히 열어 주는 것이 좋다. 프로펠러 펌프는 반대로 토출량이 0일 때에 입력이 최대로 되기 때문에 밸브를 완전히 연 상태에서 기동하고 정지하여야 한다.

2) 용적형 펌프

용적형 펌프는 왕복동 펌프와 기어 펌프가 있고, 용적형 펌프는 피스톤이나 플런저(plunger)의 왕복 운동을 이용한 것으로 소수량 고양정에 적합하며, 기어 펌프는 두 개의 기어를 서로 맞물려서 케이싱과 기어 사이의 액체를 흡입하여 펌프 작용을 하는 것으로 윤활유의 급유용으로 적합하다.

(2) 펌프 구동용 전동기의 용량

일반적으로 농형 유도 전동기, 또는 2중 농형 유도 전동기가 사용된다. 또, 저양정으로 양수량이 큰 대용량의 경우에는 역률이 좋은 동기 전동기를 쓰는 수가 많다.

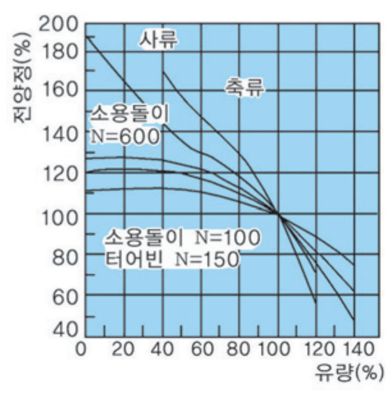
구동 전동기의 소요 동력은

$$P = k\frac{Qh}{6.12\eta}\text{[kW]} \qquad (\text{V}-22)$$

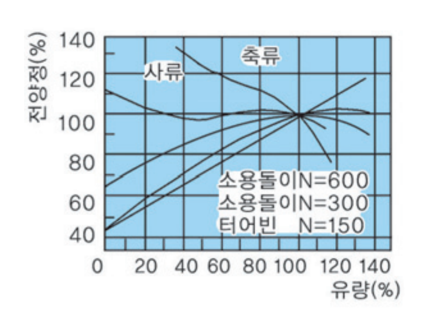
단, k: 여유 계수로 1.1～1.2, Q: 양수량[m^3/min]

h: 총양정[m], η: 펌프의 효율

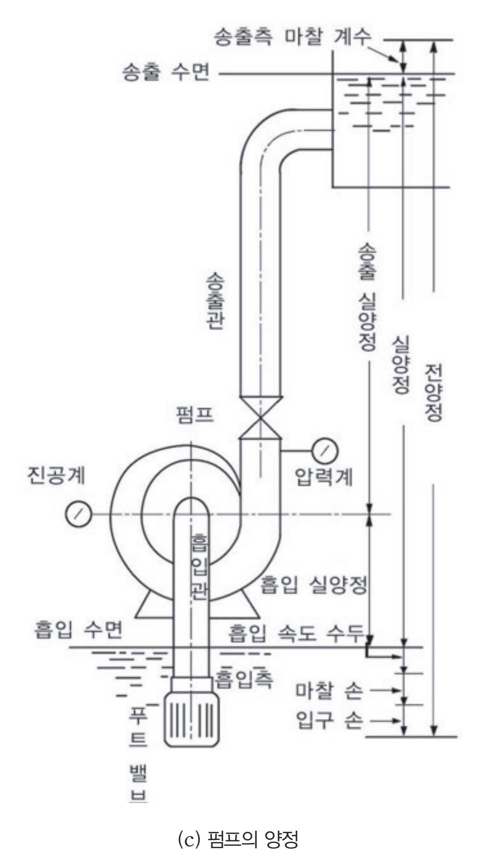
그림 Ⅴ-100은 펌프의 (a) 유량–전양정, (b) 유량–축동력 관계의 백분율과 (c) 구체적인 각종 양정을 나타낸 것이다.



(a) 각종 펌프의 개략 백분율 특성(유량–전양정)



(b) 각종 펌프의 개략 백분율 특성(유량–축동력)



(c) 펌프의 양정

그림 Ⅴ-100 펌프의 특성과 양정

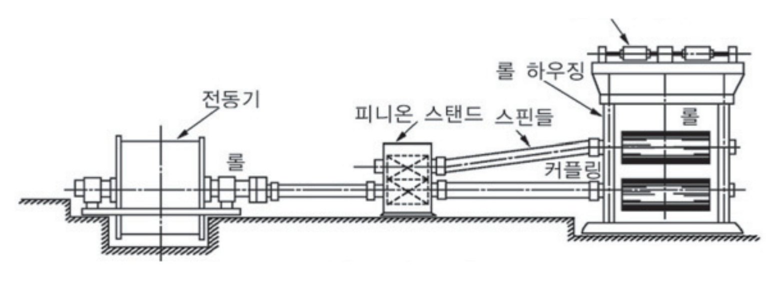
8. 압연기

압연기는 두 개 이상의 롤러 사이에 금속판을 넣고 롤러를 압축시킨 상태로 회전시켜, 필요한 두께의 금속판을 만드는 장치이다. 금속을 롤러 사이에 끼워서 압연 작업을 할 재료를 가열한 상태로 압연하는 것을 열간 압연(hot rolling), 상온 상태에서 압연하는 것을 냉간 압연(cold rolling)이라고 한다. 그리고 압연기의 롤 스탠드(roll stand)의 구조에 따라 분류하면 롤의 수에 따라 2중 롤식, 3중 롤식, 4중 롤식 등의 여러 가지가 있으며, 구조는 그림 Ⅴ-101과 같다.

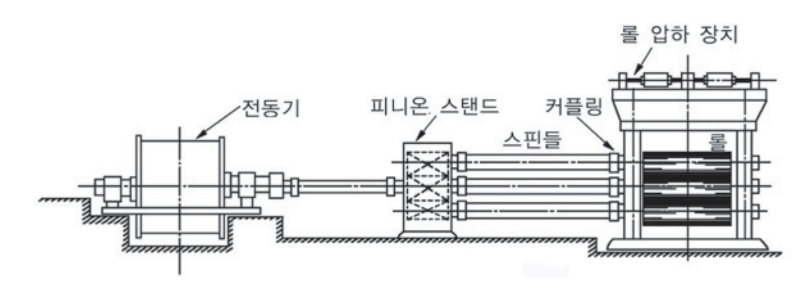
또, 취급하는 제품에 따라 분류하면 강괴(ingot)를 최초로 압연하여 슬라브(slab)나 블름(bloom)을 만드는 분괴 압연기(slab mill, blooming mill), 슬라브를 늘려서 후판을 만드는 후판 압연기(plate mill), 슬라브에서 코일 모양의 강대를 만드는 열간 대강 압연기(hot strip mill), 블름을 사용하여 빌릿(billet)이나 H형강 등을 만드는 형강 압연기(structural mill), 빌릿에서 선재를 얻는 선재 압연기(wire rod mill)등

의 열간 압연기가 있다.

열간 강대 압연기에서 만들어진 코일을 산으로 세척한 후에 상온 상태에서 압연하여 얇은 강대 코일을 만드는 연속과 가역 냉각 압연기(tandem cold mill, reversing cold mill), 열간 압연 후의 판이나 스트립(strip) 또는 뜨임을 한 이것들의 항장력, 내성, 경도 등의 물리적 성질과 형상, 표면 상태를 조정하기 위한 조절 압연기(temper pass mill, skin pass mill) 등의 냉각 압연기가 있다.



(a) 2중 롤 스탠드



(b) 3중 롤 스탠드

그림 Ⅴ-101 압연기의 종류와 구조

또, 기타 조관 설비, 각종 파이프 처리 설비가 있다. 압연기는 그림 Ⅴ-102와 같이 연동하여 사용하는 경우가 많다.

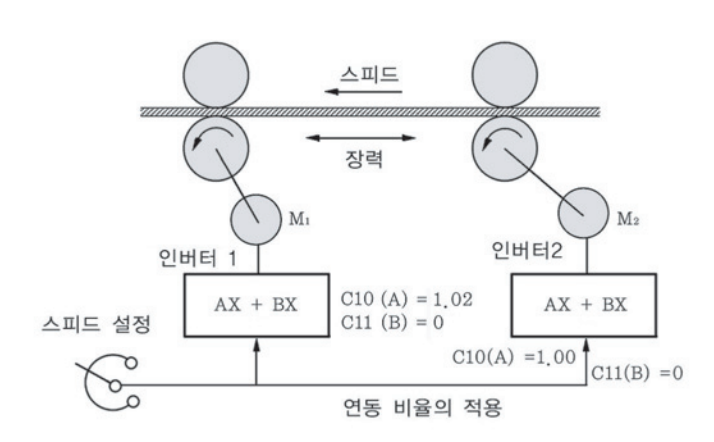


그림 Ⅴ-102 압연기의 연동

9. 냉동기와 열펌프

(1) 종류

물체의 온도를 상온보다 낮게 하거나 실온을 외부 공기의 온도보다 낮게 하고, 또 소정의 온도를 유지하는 것을 냉동이라고 한다. 그러기 위하여 실온 또는 외기의 온도보다 낮은 온도에서 열을 빼앗아 이를 높은 온도의 열로 전환시켜 물이나 공기 중으로 버리는 작용을 기계적으로 수행하는 것을 냉동기(refrigerating machine)라고 한다.

냉동기는 저온의 열원에서 냉각하면 차갑게 하는 것이 목적인데, 고온의 열원에서 보면 열을 받는 것이 되므로 냉동기를 가지고 낮은 온도에서 높은 온도 쪽으로 열을 이동시켜 온도를 상승시키려는 목적에 사용할 때에는 이를 열펌프(heat pump)라고 한다.

낮은 열원에서 열량 Q_2를 흡수하여 외부에서 일을 하여 높은 열원으로 열량 Q_1을 방출하는 역카르노 사이클(Carnot's cycle)을 볼 때, 저열원에서 보면 냉동 사이클이고 고열원에서 보면 열펌프 사이클이다. 따라서, 저열원에서 고열원으로 열을 보내기 위하여 외부에서 한 일을 W[N·m], 일의 열당량을 A[kcal/N·m]라고 하면

$$AW = Q_1 - Q_2 \qquad (\text{V}-23)$$

이다. 지금 냉동 시의 냉동량, 그리고 가열 시의 가열량에 대한 일의 열당량의 비는 각각 다음과 같다.

$$\varepsilon_1 = \frac{Q_2}{AW} = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2} = \frac{T_2}{T_1 - T_2} \qquad (\text{V}-24)$$

$$\varepsilon_2 = \frac{Q_1}{AW} = \frac{Q_1}{Q_1 - Q_2} = \frac{T_1}{T_1 - T_2} \qquad (\text{V}-25)$$

여기서 ε_1과 ε_2를 각각 냉동기와 열펌프의 성적 계수(coefficient of performance)라고 하며, 성적 계수가 클수록 우수한 냉동기와 열펌프가 된다. 단, T_1과 T_2는 각각 고열원과 저열원의 절대 온도이다.

(2) 냉동기와 열펌프의 사이클

증기 압축식 냉동기의 냉동 사이클 루프는 그림 V-103과 같다. 냉동기는 압축기(compressor), 응축기(condenser), 팽창 밸브(expansion value), 증발기(evaporator)로 구성되어 있으며, 증발기에서 증발한 저압의 냉매 가스는 압축기에 흡입되고, 단열 압축되어 응축기로 이송된다.

응축기에 온 고온 고압의 냉매 가스는 주위의 물 또는 공기에 열을 방출하고 냉각하여, 그 압력에 상응하는 액화 온도로 되어 액체로 변환되는 등압 변화를 하게 된다. 액

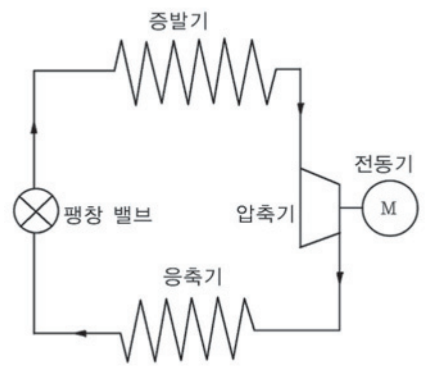


그림 Ⅴ-103 열펌프 사이클

화된 냉매는 다음에 팽창 밸브를 통하여 단열 팽창하여 저압 저온의 액체 냉매로 되어 증발기로 들어오게 되면 이것이 증발하면서 주위에서 증발열을 흡수하여 냉각 작용을 하게 된다. 그림 Ⅴ-104는 열펌프로서 하절기에는 냉방, 동절기에는 난방을 하는 장치의 계통도이다.

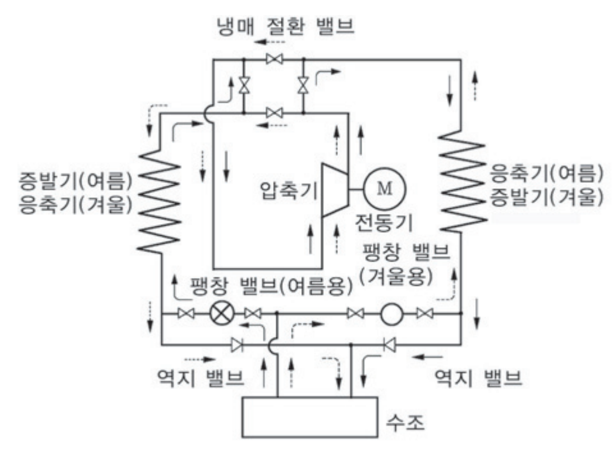


그림 Ⅴ-104 냉동기의 계통도

하절기의 냉방 운전 시에는 냉매의 순환 방향을 실선 화살표(이른바 냉동 사이클)로, 또 동절기의 난방 운전 시에는 냉매의 순환 방향을 점선의 화살표(소위 열펌프 사이클)로 표시하였다. 열펌프의 사이클은 냉동기의 사이클과 같이 설명될 수 있다.

(3) 사용 전동기와 용량 결정

냉매 1〔kg〕이 증발하는 데에 외부에서 흡입하는 열량, 즉 냉동력 또는 냉동 효과를 q_2〔kca/kg〕, 냉매를 압축하는 과정에서 가한 일의 열당량을 A_w〔kcal/kg〕, 또 응축기에서 외부에 방출하는 열량을 q_1〔kcal/kg〕이라고 하면, 냉동기의 성적 계수 ε_1, 열펌프의 성적 계수는 각각

$$\varepsilon_1 = \frac{q_2}{A_w},\ \varepsilon_2 = \frac{q_1}{A_w} \qquad (\text{V}-26)$$

이다. 지금 냉동 부하가 Q[kcal/h]라고 하면, 매시 몇 [kg]의 냉매를 증발기에 보내어 이를 증발시키지 않으면 안 되는지가 압축기나 전동기의 용량을 결정한다. 냉동 부하 Q[kcal/h]에 대한 소요 냉매의 순환량을 G[kg/h]라고 하면

$$G = \frac{Q}{q_2}\text{[kg/h]} \qquad (\text{V}-27)$$

이 냉매를 압축기로 순환시키기 위하여 압축기를 회전시키는 이론적 소요 동력 P_1은

$$P_1 = \frac{Q}{860} \cdot \frac{A_w}{q_2} = \frac{Q}{860\varepsilon_1}\text{[kW]} \qquad (\text{V}-28)$$

냉매의 흐름 과정에 있어서 마찰에 의한 압축 효율(compressor efficiency)을 η_c, 압축기의 마찰에 의한 기계 효율(mechanical efficiency)을 η_m이라고 하면, 실제 전동기의 소요 동력 P_2는

$$P_2 = \frac{P_1}{\eta_c\eta_m} = \frac{Q}{860\varepsilon_1\eta_c\eta_m}\text{[kW]} \qquad (\text{V}-29)$$

한편, 열펌프의 소요 이론 동력은 난방 부하가 Q[kcal/h]라고 하면

$$P_3 = \frac{Q}{860\varepsilon_2}\text{[kW]} \qquad (\text{V}-30)$$

로 된다. 여기서, 열펌프의 성적 계수 ε_2는 보통 3~6이다.



펌프의 토출량이 0.3[m^3/min], 펌프 전양정이 45[m]인 경우에 전동기는 몇 kW를 선정하여야 하는가? 단, 펌프 효율 η는 54%로 한다. k: 여유 계수로는 1.1~1.2에서 1.2로 한다.

풀이 |

$$P = k\frac{Qh}{6.12\eta} = k\frac{0.3\times 45}{6.12\times 0.54} = k\times 4.08 = 1.2\times 4.08 = 4.896\text{[kW]}$$

∴ 전동기 출력 P=4.896[kW]이므로, 이 이상의 가장 가까운 전동기 규격치인 5.5[kW]를 선정하여야 한다.

단원 종합 문제

1 다음 소자 중에서 자기 소호형 소자가 아닌 것은?

① 바이폴러 트랜지스터 ② MOSFET ③ IGBT
④ TRIAC ⑤ SPM

2 게이트 드라이버가 내장된 소자는?

① IPM ② IGBT ③ TRIAC
④ GTO ⑤ Power TR

3 다음 센서 중에서 위치 측정에 가장 적합한 것은?

① 홀 센서 ② 엔코더 ③ 단극 발전기
④ 교류 유도 발전기 ⑤ 직류 타여자 속도 발전기

4 엔코더의 특징이 아닌 것은?

① 위치 측정이 가능하다.
② 속도 측정이 가능하다.
③ 위치와 속도 측정이 모두 가능하다.
④ 무게 측정이 가능하다.
⑤ 온도 측정이 가능하다.

5 엔코더로 전동기의 속도 측정 시에 10[ms] 시간 간격(T_c) 동안에 2000개의 펄스를 측정하였다고 한다. 또, 엔코더의 1회전당 펄스 수는 4000[펄스/rev]라고 한다. 이때, 전동기의 속도는?

① 1000[rpm] ② 2000[rpm] ③ 3000[rpm]
④ 4000[rpm] ⑤ 5000[rpm]

6 전동기의 특징 중에서 적절한 설명이 아닌 것은?

① 전동기의 종류가 다양하여 부하의 종류와 주변 환경에 적합한 전동기를 자유롭게 선택할 수 있고, 효율적인 운전이 가능하다.
② 내연 기관에 비하여 소형이고 가스 배출이 없고 소음, 진동, 먼지, 고열 등의 발생이 적다.
③ 운전, 조작, 유지 보수가 용이하다.
④ 기계적으로 복잡한 동력 전달 장치가 필요하다.
⑤ 내연 기관보다 탄소 에너지 배출이 적다.

7 다음 중에서 기중기의 종류가 아닌 것은?

① 탑형 ② 천장 주행형 ③ 갠트리형
④ 고속형 ⑤ 저속형

8 다음 중에서 송풍기의 종류가 아닌 것은?

① 다익형 ② 직익형 ③ 터보형
④ 수직형 ⑤ 수평형

9 다음 중에서 펌프의 종류가 아닌 것은?

① 와권형 ② 터빈형 ③ 프로펠러형
④ 강압형 ⑤ 수격형

10 직류 전동기의 속도 제어에 부적당한 방식은?

① PWM ② 전압 제어 ③ 위상 제어
④ 주파수 제어 ⑤ PID 제어

11 전동기의 토크식은? (여기서, T는 토크, Φ는 주자기력선속, ω는 각속도, N은 회전 속도, i_a는 전기자 전류이다.)

① $T = k \cdot \Phi \cdot i_a$[kg·cm] ② $T = k \cdot N \cdot i_a$[kg·cm] ③ $T = k \cdot \omega \cdot i_a$[kg·cm]
④ $T = k \cdot \Phi \cdot N$[kg·cm] ⑤ $T = k \cdot \Phi^2 \cdot N$[kg·cm]

12 다음 단상 유도 전동기의 종류가 아닌 것은?

① 분상 기동 ② 콘덴서 기동 ③ 콘덴서 런
④ 반상 기동 ⑤ 저항 기동

13 다음 중에서 스테핑 모터의 구조상의 종류가 아닌 것은 ?

① PM ② HB ③ VR
④ KS ⑤ Mini Step

14 다음 중에서 2상 스테핑 모터의 여자 방식의 종류가 아닌 것은?

① 1상 여자 ② 2상 여자 ③ 3-4상 여자
④ 1-2상 여자 ⑤ 5-6상 여자

15 다음에서 인버터를 적용할 때에서 가장 적합한 전동기는?

① 직류 전동기 ② 교류 유도 전동기 ③ 3상 브러시리스 전동기
④ 2상 스테핑 모터 ⑤ PMSM

16 브러시리스 전동기의 특징이 아닌 것은?

① 기동 시에 회전자 자극의 위치 검출이 필요하다.
② 브러시가 없어 유지 보수가 용이하다.
③ 대용량 전동기에 적용할 때에 적합하다.
④ 기동 회로가 불필요하다.
⑤ 속도와 위치 센서가 필요하다.

17 일반적으로 농형 유도 전동기를 가장 많이 사용하는 이유가 아닌 것은?

① 취급이 간편하다. ② 운전이 쉽다. ③ 값이 싸다.
④ 속도 제어가 쉽다. ⑤ 내구성이 좋다.

18 유도 전동기에서 속도의 차($Ns-N$)와 동기 속도와의 비를 (　　　　　)이라고 한다.

19 대용량 3상 유도 전동기의 기동법으로 가장 부적당한 것은?

① 2차 저항 기동법 ② 주파수 제어법 ③ 직접 기동법
④ $Y-\Delta$ 기동법 ⑤ 기동 보상 기법

20 유도 전동기의 속도를 결정하는 요소 세 가지를 쓰시오.

(　　　　　), (　　　　　), (　　　　　)

정답 | **1** ④ **2** ① **3** ② **4** ④, ⑤ **5** ③ **6** ④ **7** ④, ⑤ **8** ④, ⑤ **9** ④, ⑤ **10** ④
11 ① **12** ④, ⑤ **13** ④, ⑤ **14** ③, ⑤ **15** ② **16** ④ **17** ④ **18** 슬립 **19** ③
20 주파수, 극수, 전압

인용 및 참고 문헌

- 정재륜 외(1993). 전력 전자. 서울: 보성각. pp. 301~309, pp. 499~506
- Fairchild SPM Manual. Fairchild Home page. "http://www.fairchildsemi.com/kr/"

부록

전동기 분야에서 사용되는 국제 단위(SI)와 기타 다른 단위와의 환산표를 제공한다.

전기 기기의 규격표

국명	규격명 및 운용 단체	
국제 규격	IEC	International Electrotechnical Commission
미국	NEMA ANSI	National Electrical Manufactures Association AMerican National Standarf Institute
영국	BSI	British Standards Institution
독일	VDE DIN	Verband Deutscher Elektrotechniker Deutche Indusorie Normen
폴란드	KEMA	Naamloze Vennootschap Tot Keuring Van Electrotechnische Materrialen
노르웨이	NEMKO	Norge Elektriske Materiellkontroll
스웨덴	SEMIKO	Senska Elektriska Materiekontrollanstalten
덴마트	DEMIKO	Denmarks Eletriske Materielkontrol
스위스	SEV	Schweizerischer Elektrotechnischer Verein
프랑스	UTE	Union Technique De Lelcticite

1. 길이

m	cm	in
1	100	39.37
0.01	1	0.3937
0.0254	2.540	1

2. 무게

kg	g	ib	oz
1	1,000	2,205	35.27
0.001	1	0.002205	0.03527
0.4536	453.6	1	16
0.02835	28.35	0.0625	1

3. 출력

W	kW	HP
1	0.001	0.001333
1,000	1	1.333
750	0.750	1

4. 토크(회전력)

N·m	kg·cm	g·cm	oz·in
1	10.20	10,200	141.6
0.09807	1	1,000	13.89
9.807×10^{-5}	0.001	1	0.01389
0.007061	0.07200	72	1

5. 토크 상수 및 역기전력 상수

K_1			K_2	
N·m/A	kg·cm/A	oz·in/A	V·s/A	V/krpm
1	10.2	141.6	1	104.7
0.09807	1	13.89	0.09807	10.27
0.007061	0.07200	1	0.007061	0.7394
0.009549	0.09738	1.352	0.009549	1

6. 회전 속도

rad/s	rps	rpm	krpm
1	0.1592	9.549	0.009549
6.283	1	60	0.06
0.1047	0.01667	1	0.001
104.7	16.67	1,000	1

7. 관성 모멘트(inertia)

kg·m^2	kg·cm^2	GD^2[kg·cm^2]	g·cm·s^2	oz·in·s^2
1	10,000	40,000	10,200	141.6
0.0001	1	4	1.020	0.01416
2.5×10^{-5}	0.2500	1	0.2549	0.003541
9.807×10^{-5}	0.9807	3,922	1	0.01389
0.007061	70.61	282.4	72	1